А. Х. Вәлиуллин

Материаллар каршылыгы буенча мәсьәләләр җыентыгы

А.Х.ВӘЛИУЛЛИН

МАТЕРИАЛЛАР КАРШЫЛЫГЫ буенча мәсьәләләр җыентыгы

Югары техник уку йортларының механика белгечлекләре өчен кулланма

КАЗАН «МӘГАРИФ» 1993

ББК 30.121
В 97
539.38

Казан дәүләт технология университеты
Гыйльми советы карары нигезендә бастырыла

Фәнни редакторы — техник фәннәр докторы,
профессор *Н.Х.Зиннәтуллин*

Рецензентлары:
Татарстан Республикасының атказанган фән һәм техника эшлеклесе, физика-математика фәннәре докторы,
профессор *Ө.Ф.Фәтхуллин*,
техник фәннәр докторы, профессор *Ә.М.Арсланов*.

Вәлиуллин А.Х.

В 97 Материаллар каршылыгы буенча мәсьәләләр җыентыгы: Югары уку йортларының механика белгечлекләре өчен кулланма. — Казан: Мәгариф, 1993. — 184 б., рәс. белән.
ISBN 5-7761-0165-4

Китапта материаллар каршылыгының барлык бүлекләре буенча мәсьәләләр китерелгән, җыентыкта 795 мәсьәлә, аларның барысының да җаваплары бар, күп кенә мәсьәләләрнең чишелешләре дә бирелә. Китапта 358 рәсем, 5 таблица бар.
Югары уку йортлары һәм техникумнар студентлары һәм укытучыларына тәкъдим ителә.

$В \frac{2\,105\,000\,000 - 052}{П86\,(03) - 93}$ без объявл. — 93 ББК 30.121

ISBN 5-7761-0165-4

© *Вәлиуллин А. Х., 1993*

ФӘННИ МӨХӘРРИРДӘН

1992 елда А.Х.Вәлиуллинның татар телендә язылган «Гамәли механика (материаллар каршылыгы)» дәреслеге дөнья күрде. Ләкин гамәли механиканы татар телендә өйрәнү өчен бу китап кына җитми. Шуңа күрә дә дәреслек авторы бу фән буенча тагын бер уку кулланмасы — мәсьәләләр җыентыгы төзеде.

Дәреслек кебек үк, җыентык модуль принцибына нигезләнеп язылган, ә бу исә гамәли механиканы төрле күләмдә үзләштерү мөмкинлеген бирә. Казан дәүләт технология университетында, мәсәлән, технология белгечлекләре студентларына кайбер өстәмәләр белән төп модульне генә белү дә җитә, ә механика белгечлекләре студентларына бөтен материалны үзләштерү зарури.

Кулланмада һәрбер бүлек буенча чишелгән мәсьәләләр китерелгән, һәр мәсьәләнең җавабы бар. Бу — читтән торып укучы студентлар өчен бигрәк тә әһәмиятле. Соңгы 16 нчы бүлектә фәнне тирәнрәк өйрәнергә теләгән студентлар өчен фәнни эшне башлап җибәрергә нигез булырлык авырлыктагы мәсьәләләр тәкъдим ителә. Шулай итеп, бу җыентык студентларның күп төрле таләпләрен канәгатьләндерә.

Китапның кушымтасында курс буенча төп лаборатор эшләр бирелгән, бу — мөһим момент.

А.Х.Вәлиуллинның бу китабы югары уку йортлары студентларына, инженер һәм техникларга практикада очрый торган катлаулы мәсьәләләрне чишәргә ярдәм итәчәк дип уйларга ныклы нигез бар.

Техник фәннәр докторы,
профессор Н.Х.Зиннәтуллин.

Кереш сүз

Укучылар игътибарына тәкъдим ителә торган бу китап — гамәли механика (материаллар каршылыгы) буенча мәсьәләләр һәм мисаллар җыентыгы — 1992 елда басылып чыккан дәреслек* нигезендә язылган һәм дәреслек белән бер рәттән студентларның материаллар механикасын тирәнтен өйрәнүләренә юнәлтелгән. Җыентык дәреслеккә туры китереп төзелгән, аның 1–7 нче бүлекләре фәннең төп модулен (өлешен) тәшкил итә; һәр бүлек чишелеше күрсәтелгән мәсьәләләрдән башлана. Анда студентларга дәрес вакытында һәм мөстәкыйль эшләү өчен җитәрлек мәсьәлә тупланган. Контроль эшләр һәм исәпләү-проектлаштыру эшләрен башкару һәм яклау өчен һәр бүлектә чама белән бердәй катлаулылыктагы мәсьәләләр китерелгән. Кулланмадагы мәсьәләләрнең байтагы (нигездә үрнәк, типиклары) киң кулланыла торган рус телендәге җыентыклардан, аерым алганда, В.К.Качурин, А.С.Вольмир редакцияләрендәге, К.К.Лихарев һәм Н.А.Сухова, Г.Г.Дәүләтбаев һ.б. төзегән җыентыклардан алынган. Оригиналь мәсьәләләр дә күп. Барлык мәсьәләләр алдан чишелгән һәм аларның җаваплары китапта бирелгән. Җыентыкның ахырында кирәкле белешмә таблицалар китерелгән. Өстәмәләрдә, тәҗрибә эшләре буенча махсус китап чыкканчы куллану өчен, төп тәҗрибә эшләре турында да кайбер мәгълүматлар тәкъдим ителә. Шулай итеп, бу китап, «Гамәли механика» дәреслеге белән берлектә, материаллар каршылыгы фәнен укыту процессын тулысынча татар телендә алып баруны тәэмин итә. Нәшриятка тапшыру алдыннан җыентыкның эчтәлеге, мәсьәләләрнең тематикасы һәм аларны чишү алымнары Казан дәүләт технология университеты материаллар каршылыгы кафедрасы эшлекләләре тарафыннан тикшерелде һәм китапның сыйфатын күтәрүгә юнәлдерелгән фикерләр белән баетылды. Фикер алышулар оештыруы һәм файдалы киңәшләре өчен кафедра мөдире — физика-математика фәннәре докторы М.Н.Сираҗетдиновка һәм хезмәттәшләре — шул кафедра укытучыларына, аерым алганда, даими рәвештә ярдәм итүче С.Г.Мөхәмбәтҗановка — автор үзенең рәхмәтен белдерә.

---

*А.Х.Вәлиуллин. Гамәли механика. Казан университеты нәшрияты, 1992 ел.

Шулай ук авторга күп ярдәм күрсәткән Татарстан Фәннәр академиясе академиклары С.Г.Дьяконов, Р.С.Сәйфуллин, әгъза-корреспондентлары Ф.Ә.Гарифуллин, В.А.Максимовка зур рәхмәт әйтәсе килә.

Китапның фәнни һәм әдәби редакторлары профессор Н.Х.Зиннәтуллин һәм доцент К.З.Зиннәтуллинага аерым зур рәхмәт.

Бу китапны бастырып чыгаруда авторга байтак кына спонсорлар булышты. Аларга — оешмалар, заводлар, зур һәм кече предприятиеләр коллективлары һәм җитәкчеләренә: В.А.Арслановка («Фән һәм җитештерү» җәмгыяты), Ә.М.Галиев («Казанкомпрессормаш» берләшмәсе), Р.Ф.Ибәтуллин («СУАР» ассоциациясе), Р.А.Каргин («Хитон» заводы), Ф.Г.Шәйхиев («Технология» кече предприятиесе) һәм китапны нәшер итүгә күп көч куйган «Мәгариф» ассоциациясе президенты И.Г.Әмирхановка автор үзенең зур рәхмәтен белдерә.

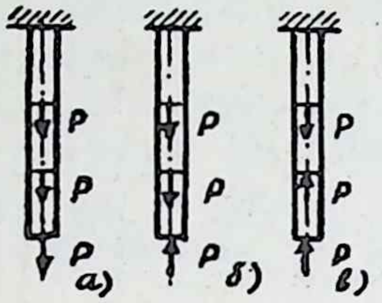
Барлык мәсьәләләрдә дә кулланыла торган зурлыклар

- Корычның эластиклык модуле $E = 2 \cdot 10^{11}$ $Па = 2 \cdot 10^{5}$ $МПа$.
- Корычның шуышу модуле $G = 8 \cdot 10^{10}$ $Па = 8 \cdot 10^{4}$ $МПа$.
- Корычның Пуассон коэффициенты $\mu = 0{,}25—0{,}3$.
- Бакырның эластиклык модуле $E = 10^{11}$ $Па = 10^{5}$ $МПа$.
- Корычның җылыдан киңәю коэффициенты $\alpha = 12{,}5 \cdot 10^{-6}$ $1/К$.
- Бакырның җылыдан киңәю коэффициенты $\alpha = 16{,}5 \cdot 10^{-6}$ $1/К$.
- Алюминийның эластиклык модуле $E = 7 \cdot 10^{10}$ $Па = 7 \cdot 10^{4}$ $МПа$.
- Алюминийның җылыдан киңәю коэффициенты $\alpha = 25 \cdot 10^{-6}$ $1/К$.
- Чуенның эластиклык модуле $E = 1{,}2 \cdot 10^{11}$ $Па = 1{,}2 \cdot 10^{5}$ $МПа$.
- Бетонның эластиклык модуле $E = 1{,}2 \cdot 10^{10}$ $Па = 1{,}2 \cdot 10^{4}$ $МПа$.
- Агачның эластиклык модуле $E = 10^{10}$ $Па = 10^{4}$ $МПа$.

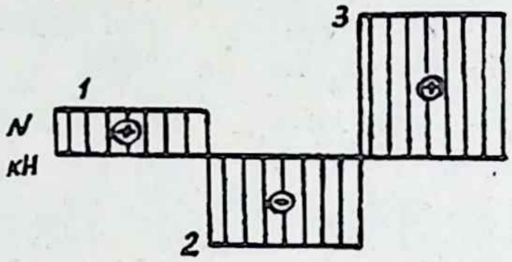
1. Эчке көч факторлары

1.1. Күрсәтелгән таяклар өчен нормаль көч эпюрларын төзегез. Таякларның үз авырлыкларын исәпкә алмаска.

1.2. Рәсемдә таякның нормаль көч эпюры күрсәтелгән. Ул таякка нинди көчләр куелган?



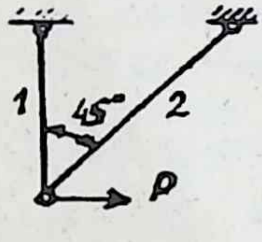
1.1 мәсьәләгә



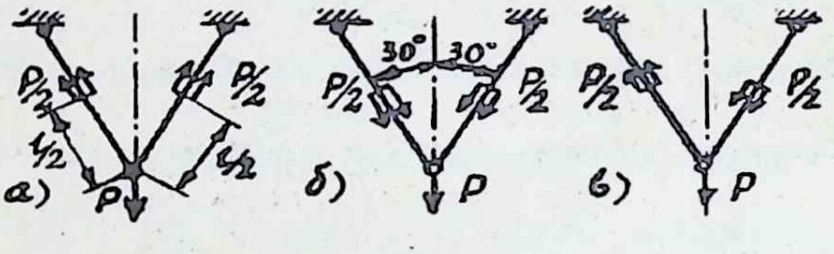
1.2 мәсьәләгә

1.3. Таякларның аркылы кисемнәрендә барлыкка килгән нормаль көчләрне табыгыз.

1.4. Күрсәтелгән конструкциянең таяклары өчен нормаль көч эпюрларын төзегез.



1.3 мәсьәләгә



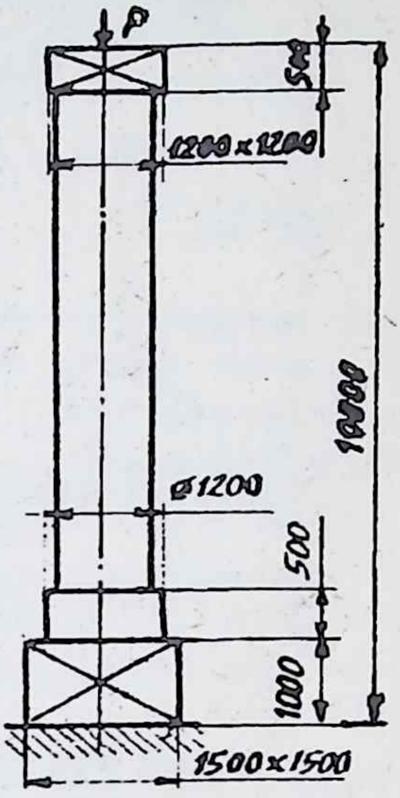
1.4 мәсьәләгә

1.5. Даими кисемле вертикаль таяк өчен үз авырлыгыннан килеп чыккан нормаль көч эпюрын төзегез. Мәсьәләне ике очрак өчен чишәргә: а) таяк эленеп куелган, б) таяк бастырып куелган, материалның тыгызлыгы ρ, таякның аркылы кисеме F, буе l.

1.6. Конус сыман борыстагы үз авырлыгыннан барлыкка килгән нормаль көчнең эпюрын төзегез. Материалның тыгызлыгы ρ.

1.7. Даими аркылы кисемле таяк өске очыннан эленеп куелган. Аның уртасында аска таба юнәлгән көч (P) куелган. Таякның аркылы кисеме F, буе l, материалының тыгызлыгы ρ. Нормаль көч эпюрын төзегез. ($P = 10$ *кН*, $l = 100$ *м*, $\rho = 7850$ *кг*/*м*^{3}, $F = 1$ *см*^{2}, авырлык көче тизләнешен бу һәм башка мәсьәләләрдә — аерым әйтелгән булмаса — 10 *м*/*с*^{2} дип алыгыз).

1.8. Рәсемдә колонна күрсәтелгән (зурлыклары — *мм* да), аның материалы — бетон (тыгызлыгы $\rho = 2500$ *кг*/*м*^{3}), өске очына $P = 1000$ *кН* көч куелган. Колоннаның үз авырлыгын да исәпкә алып, нормаль көч эпюрын төзегез.

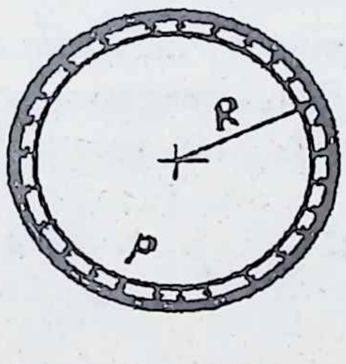


1.8 мәсьәләгә

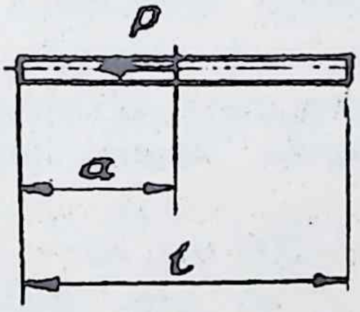
1.9. Шахта лифты тимер бавының буе 0,5 *км* булсын, аның аркылы кисеменең мәйданы 10 *см*^{2}, тросның очына лифт кабинасы эленгән, аның массасы (йөк белән бергә) 10 т. Шул тростагы иң зур нормаль көчне табыгыз (материалының тыгызлыгы 7000 *кг*/*м*^{3}).

1.10. Нечкә боҗрага әйләнәсе буйлап таралган көчләр куелган. Боҗраның аркылы кисемендә килеп чыккан максималь нормаль көчне табыгыз, $p = 1000$ *Н*/*м*, $R = 0,5$ *м*.

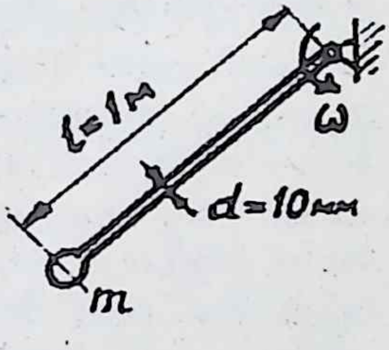
1.11. Рәсемдә күрсәтелгән таяк өчен нормаль көч эпюрын төзегез. Таякның аркылы кисеме — даими зурлык. Көч куелган нокта таяк буйлап күчкәндә, нормаль көч эпюры ничек үзгәрә?



1.10 мәсьәләгә



1.11 мәсьәләгә



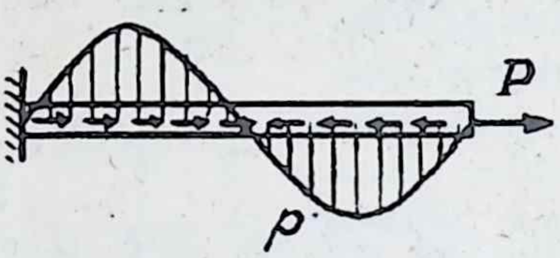
1.12 мәсьәләгә

1.12. Даими кисемле таякның очында тупланган масса $m = 5$ *кг* бар, икенче очы аркылы узган күчәр янында таяк даими тизлекле әйләнү хәрәкәте ясап тора ($\omega = 10\ c^{-1}$). Ике очрак өчен: 1) үз авырлыгын исәпкә алмыйча, 2) авырлыгын исәпкә алып, таякның кисемендә барлыкка килгән максималь нормаль көчне билгеләгез, материалның тыгызлыгы $\rho = 7850$ *кг/м*^{3}.

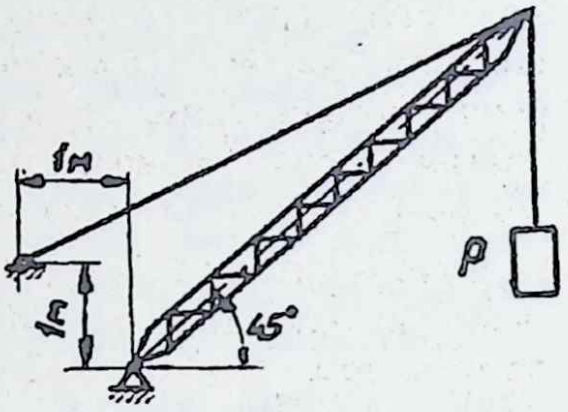
1.13. Рәсемдә күрсәтелгәнчә көчләр куелган таяк өчен нормаль көч эпюрын төзеп, аның куркынычлы кисемен табыгыз;

$P = 10$ *кН*, $p = 5\sin\frac{\pi z}{l}$ *кН/м* (таралган буйлы көч интенсивлыгы),

$l = 2$*м*.



1.13 мәсьәләгә



1.14 мәсьәләгә

1.14. Йөк күтәргечнең 20 *м* буйлы угы (1) горизонттан 45 градуска авышкан, шул хәлдә аны тәҗе (2) тотып тора. Йөкнең массасы 5 т булганда тәҗедәге нормаль көчне билгеләгез.

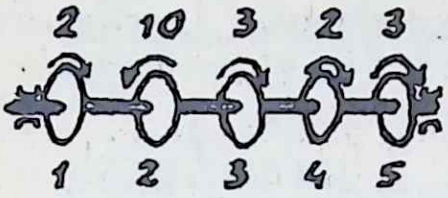
1.15. Вал тигез әйләнеп тора. Аның әйләнү тизлеге n *әйл/мин*, вал тапшыра торган егәрлек W кВт булганда валга тәэсир итә торган тышкы моментны табыгыз.

1.16. Валга 5 шкив кидерелгән, аларның икенчесе каеш тапшыргыч аша әйләнү хәрәкәтенә китерелә. Ул шкивтагы момент $M_2 = 10000$ *Нм*, егәрлек башка шкивлар аша төрле механизмларга таратыла:

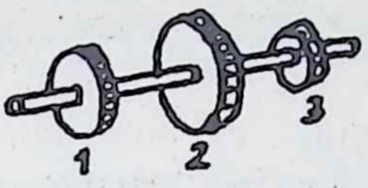
$M_1 = 2000$ *Нм*, $M_3 = 3000$ *Нм*, $M_4 = 2000$ *Нм*, $M_5 = 3000$ *Нм*.

Шул вал өчен бөтерү моменты эпюрын төзеп, куркынычлы кисемен күрсәтегез.

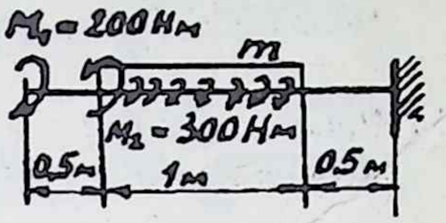
1.17. Алдагы мәсьәләдәге шкивларны куркынычлы бөтерү моментының минималь булуы шартыннан чыгып дөресләп урнаштырып куегыз, бөтерү моменты эпюрын төзегез.



1.16 мәсьәләгә



1.18 мәсьәләгә



1.19 мәсьәләгә

1.18. Уртадагы тешле тәгәрмәчкә егәрлек электромотордан тапшырыла, ул $W = 15$ *а.к.* (1 ат көче 736 ваттка тигез), беренче тәгәрмәч аша 6 *а.к.*, ә өченчесе аша — егәрлекнең калган өлеше тапшырыла, $n = 30$ *әйл/мин*. Бөтерү моменты эпюрын төзеп, валның куркынычлы урынын күрсәтегез.

1.19. Тупланган тышкы моментлардан тыш, валга таралган момент та тәэсир итә, аның интенсивлыгы $m = 100$ *Нм/м*. Калганнары — рәсемдә. Валның куркынычлы кисемен табыгыз.

1.20. Хәрәкәт бер валдан икенчесенә тапшырылганда, гадәттә әйләнү тизлеге үзгәрә. Шуның белән бәйләнгән моментның үзгәрешен табып күрсәтегез. (Әлбәттә, егәрлек үзгәрми.)

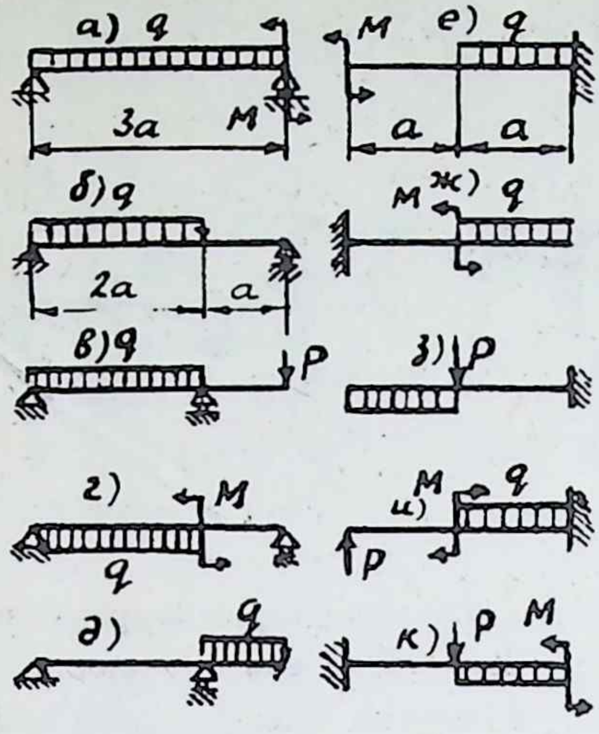
1.21. Күрсәтелгән балкалар өчен аркылы көч һәм бөгү моменты эпюрларын төзеп, аларның куркынычлы кисемен күрсәтегез; $q = 10$ *кН/м*, $P = 20$ *кН*, $M = 30$ *кНм*, $a = 1$ *м*.

1.22. Рәсемдә күрсәтелгән шарнирлы балкалар өчен, аркылы көч һәм бөгү моменты эпюрларын төзеп, куркынычлы кисемнәрен күрсәтегез; $q = 20$ *кН/м*, $P = 10$ *кН*, $M = 5$ *кНм*, $a = 1$ *м*.

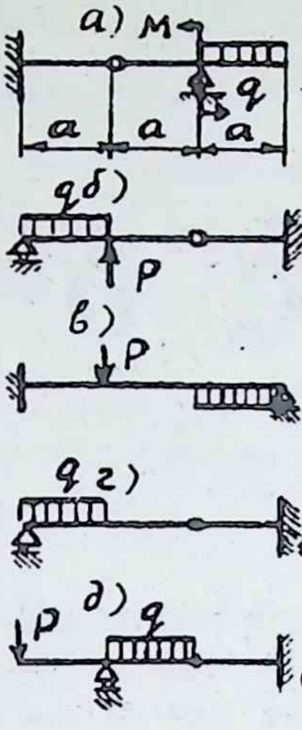
1.23. Рәсемдә күрсәтелгән балкаларның куркынычлы аркылы кисемнәрен табыгыз:

$q = 10$ *кН/м*, $P = 10$ *кН*, $M = 10$ *кНм*, $a = 1,2$ *м*.

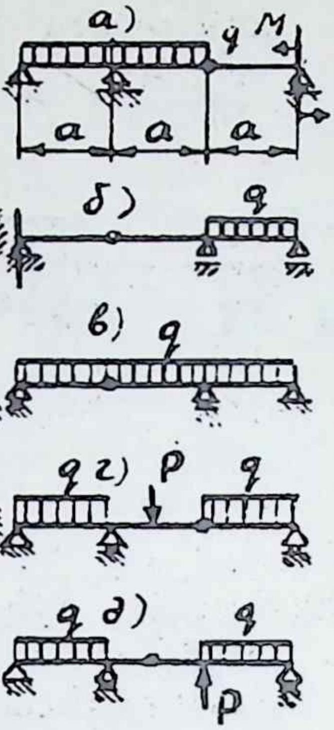
1.24. Бөгү моменты эпюры балканың кысыла торган ягында урнаша. Шуны истә тотып, башта M эпюрын төзеп, чама белән балканың бөгелешен күрсәтеп карагыз.



1.21 мәсьәләгә



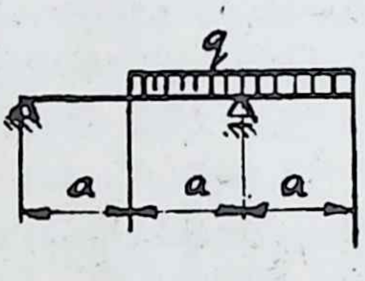
1.22 мәсьәләгә



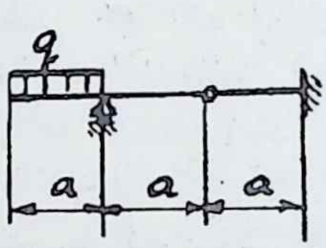
1.23 мәсьәләгә

1.25. Рәсемдә күрсәтелгән балканың, башта бөгү моменты эпюрын төзеп, бөгелгән формасын күрсәтегез.

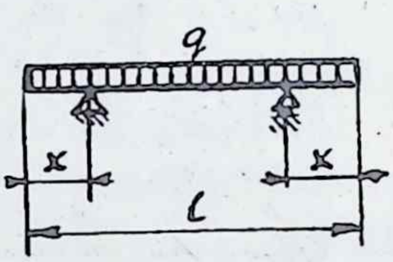
1.26. Бу балканың максималь бөгү моменты (абсолют рәвештә) я урта, я терәк кисемендә булырга мөмкин. Алар икесе дә (өчесе дә) тигез булса, балканың аркылы киселе минималь зурлыкта була, балканы оптималь дип әйтә алабыз. Шул шартны тәэмин итә торган a зурлыгын табыгыз.



1.24 мәсьәләгә



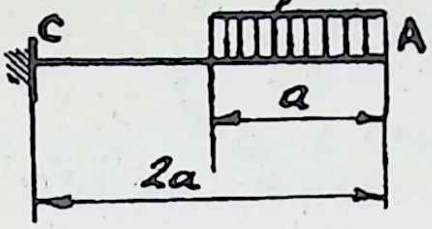
1.25 мәсьәләгә



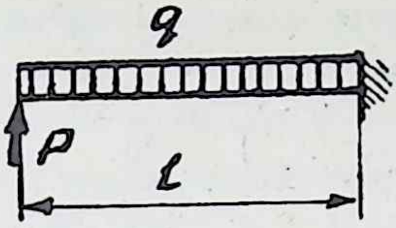
1.26 мәсьәләгә

1.27. Балканың C кисемендә бөгү моменты булмасын өчен A ноктасында куелган P көченең зурлыгын табыгыз.

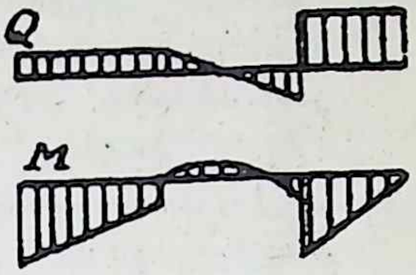
1.28. Балканың оптимальлек шартыннан чыгып, P һәм q йөкләре арасындагы бәйлелекне табыгыз (мәсәлән, P һәм l бирелгән).



1.27 мәсьәләгә



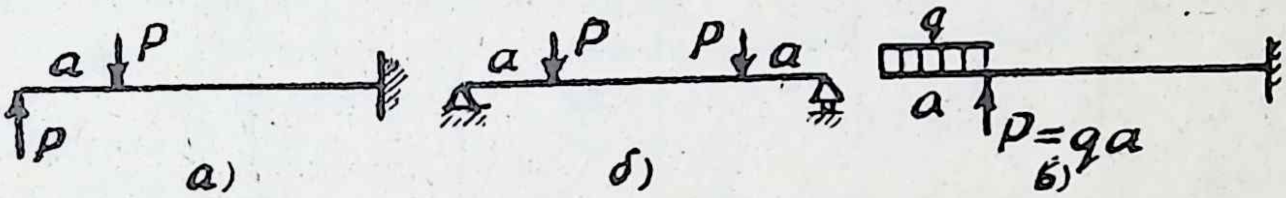
1.28 мәсьәләгә



1.29 мәсьәләгә

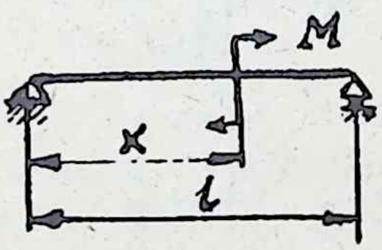
1.29. Рәсемдә бер балканың Q һәм M эпюрлары күрсәтелгән. Шул эпюрларга туры китереп, балкага куелган көчләрне һәм аның бөгелешен күрсәтегез.

1.30. Рәсемдә күрсәтелгән балкалар өчен Q һәм M эпюрларын төзеп, аларның саф бөгелү халәтендә булган урыннарын табыгыз.

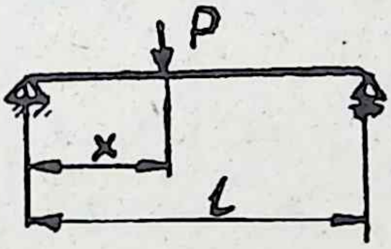


1.30 мәсьәләгә

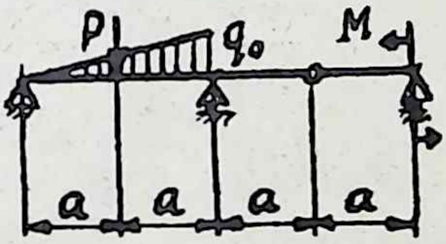
1.31. Тупланган момент белән йөкләнгән балка өчен Q һәм M эпюрларын төзегез һәм аларның x 0 дән l гә күчкәндәге үзгәрешен күзәтегез. Моментны кую урынының иң куркынычлысы кайда?



1.31 мәсьәләгә



1.32 мәсьәләгә



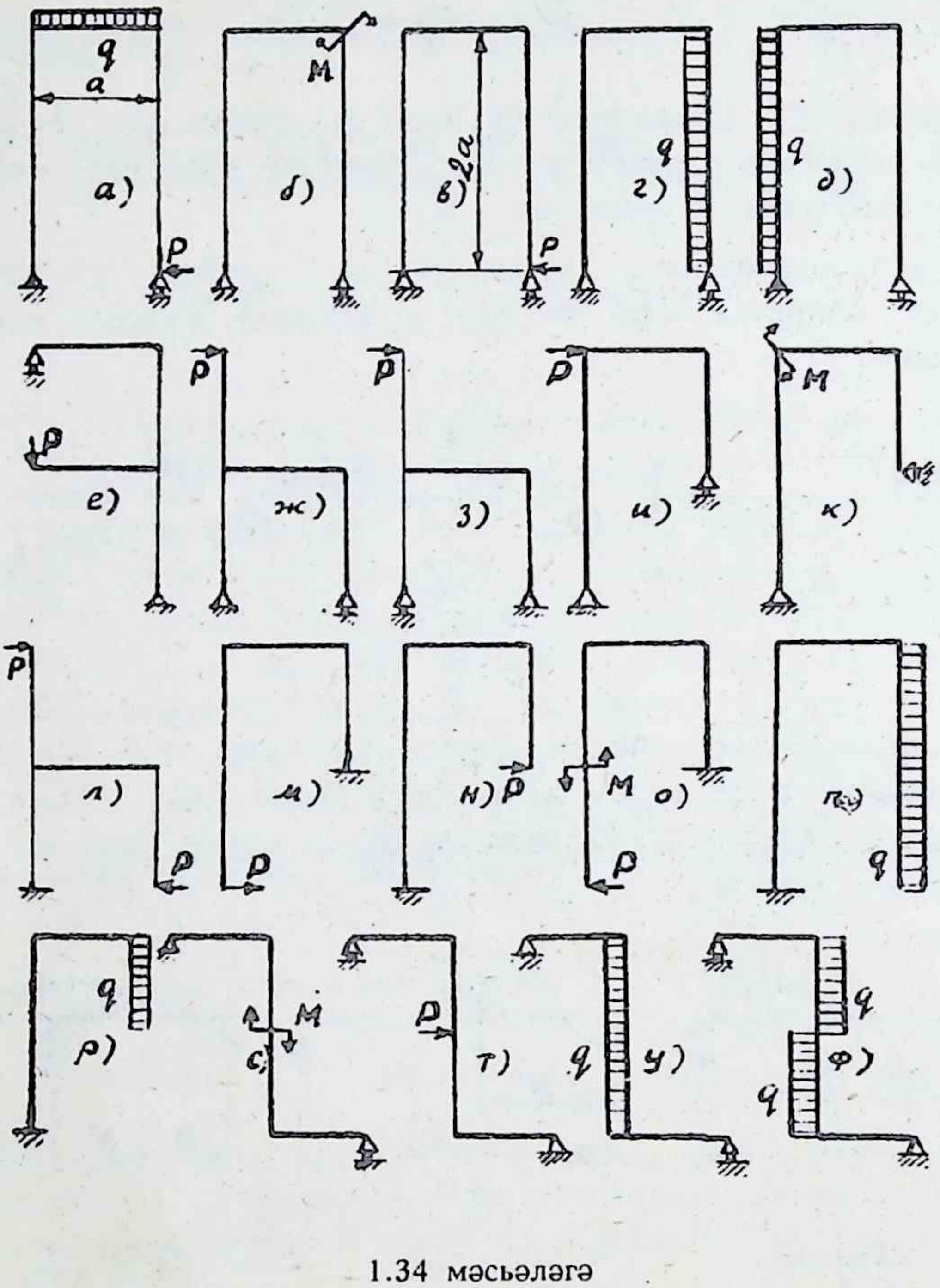
1.33 мәсьәләгә

1.32. Рәсемдә күрсәтелгән балка өчен M эпюрын төзеп, 1.31 нче мәсьәләдә куелган сорауга җавап бирегез. Бөгү моментының максимумын табыгыз.

1.33. Рәсемдә күрсәтелгән балка өчен Q һәм M эпюрларын төзеп, куркынычлы кисемен табыгыз; таралган көчнең интенсивлыгы сызыкча закон буенча үзгәрә.

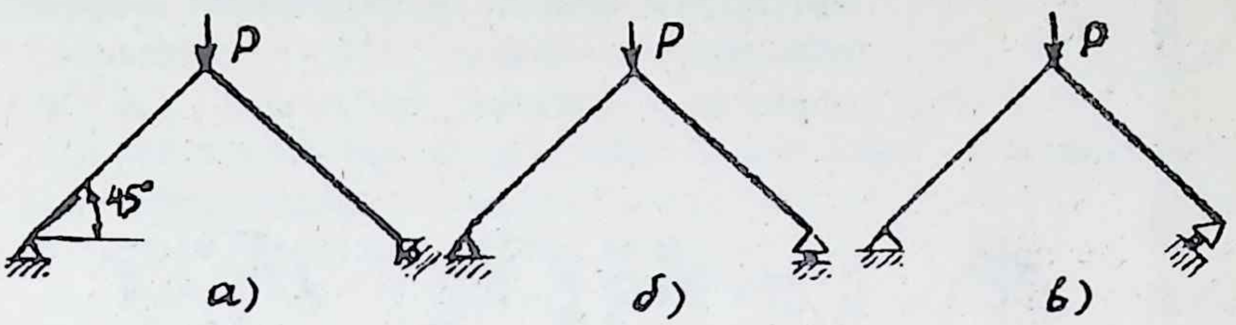
$M = 20$ *кНм*, $P = 20$ *кН*, $q_0 = 10$ *кН/м*, $l = 1$ *м*.

1.34. Рәсемдә күрсәтелгән яссы рамнар өчен N, Q, M эпюрларын төзегез; $M = 200$ *кНм*, $P = 400$ *кН*, $q = 200$ *кН/м*, $a = 0{,}5$*м*.



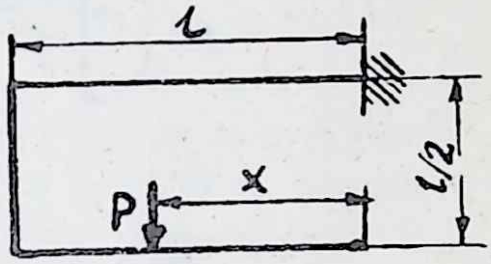
1.34 мәсьәләгә

1.35. Өч рәсемдә күрсәтелгән бер үк борысның уң терәге генә өч төрле. ЭКФ эпюрларын төзеп, мондый сорауга җавап бирегез: бу очракларның кайсы иң куркынычлы? Алдан әйтеп куйыйк: иң куркынычлысы дип максималь бөгү моментлы очракны саныйбыз.



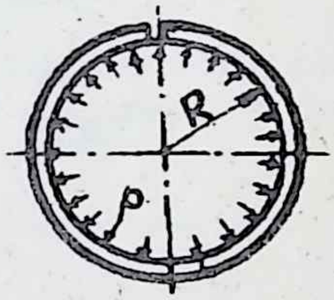
1.35 мәсьәләгә

1.36. Киләчәктә безгә бик еш бөгү моменты эпюрларының мәйданнарын исәпләп билгеләргә туры килер. Моңа мисал: рәсемдә күрсәтелгән яссы рамның M эпюрын төзеп, P куелган ноктаны рамның эчке һәм тышкы ягындагы M эпюрының мәйданнары тигез булуы шартыннан табыгыз.



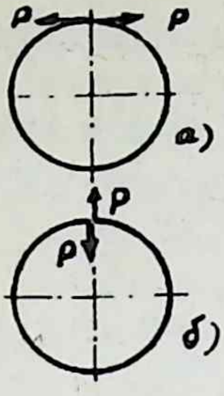
1.36 мәсьәләгә

1.37. Нечкә боҗраның ($R = 0{,}5$ *м*) ярыгы бар. Боҗрага таралган көч $p = 1000$ *Н/м* куелган. ЭКФ эпюрларын төзеп, куркынычлы кисемне табыгыз. Чишү нәтиҗәләрен 1.10 нчы мәсьәләнеке белән чагыштырып карагыз.



1.37 мәсьәләгә

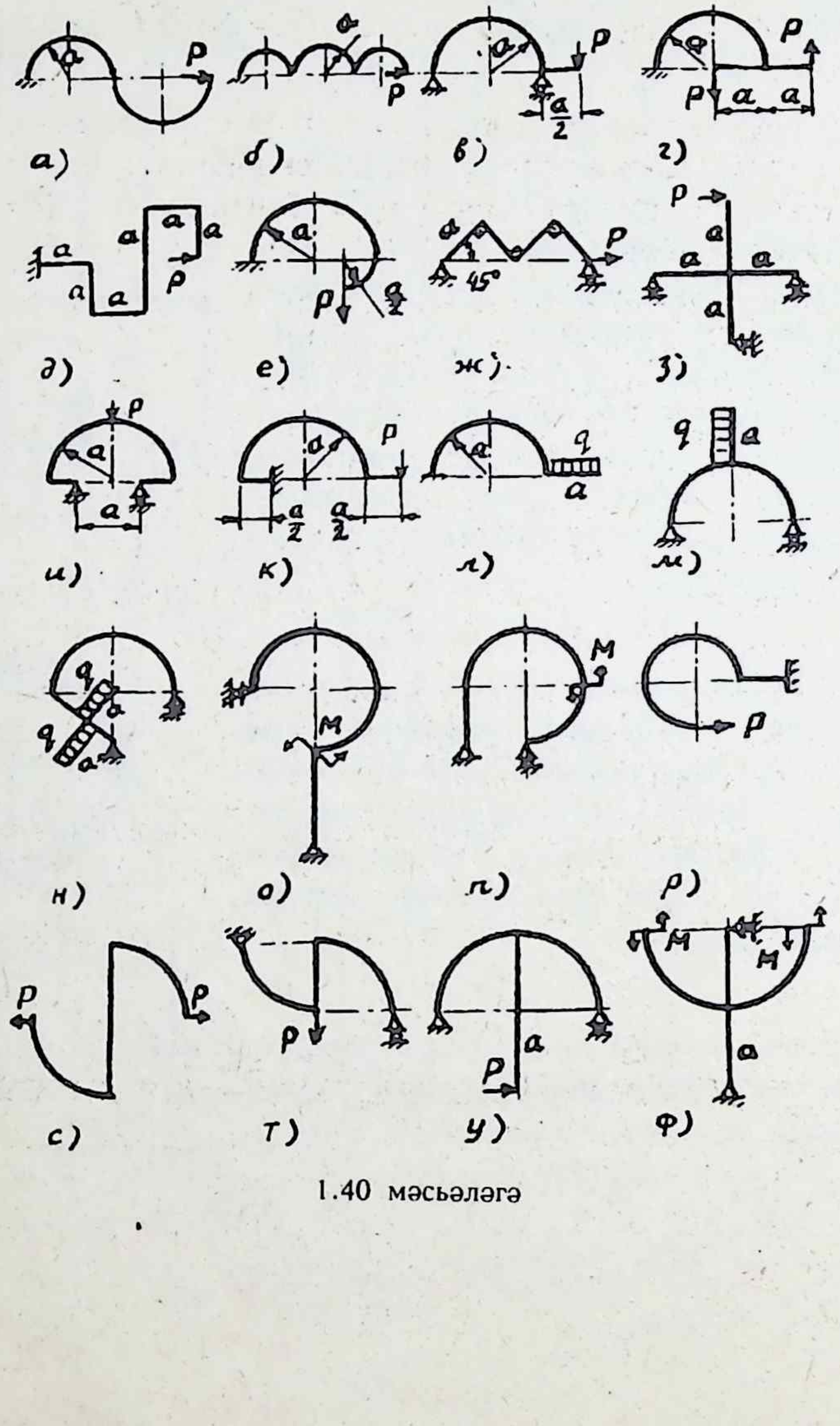
1.38. Рәсемдә күрсәтелгән кәкре борыслар өчен N, Q, M эпюрларын төзегез; борысларның күчәрләре — a радиуслы әйләнә, $M = Pa$, $P = 15$ *кН*, $a = 0{,}5$ *м*.



1.39. Йөкләнешнең кайсы очрагы куркынычлырак? Бөгү моменты эпюрын төзеп җавап бирегез.

1.40 Рәсемнәрдә күрсәтелгән борыслар өчен ЭКФ эпюрларын төзеп, куркынычлы кисемнәрен табыгыз.

1.39 мәсьәләгә



1.40 мәсьәләгә

2. Сузу һәм кысу

2.1. Таяк бер очы белән түшәмгә беркетелгән, икенче очына йөк эленеп куелган, йөкнең массасы $m = 10$ т, таякның аркылы киселеше — 40 *мм* диаметрлы түгәрәк. Таякның аркылы киселешендәге көчәнешне табыгыз (бу һәм башка мәсьәләләрдә, аерым әйтелмәгән булса, авырлык көченең тизләнешен $g = 10\ м/с^2$ дип саныйбыз).

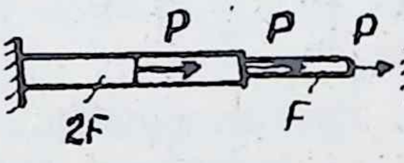
2.1 мәсьәләгә

2.2. СИ системасының нигезе итеп масса, озынлык һәм вакыт үлчәү берәмлекләре *кг, м, с* салынган, шуңа күрә андагы көч үлчәү берәмлеге $1\ Н = 1\ кг \cdot м/с^2$, ә көчәнеш берәмлеге — $1\ Па = 1\ Н/м^2$ булып чыга.

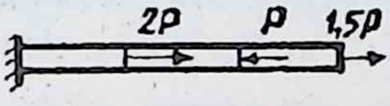
Техника китапларының күбесендә әлегә кадәр МКСС системасы кулланылган, ул системаның нигезе — озынлык (метр), көч (килограмм-көч, ул 1 килограммлы массаның авырлыгы дип санала) һәм вакыт (секунд). Иске кулланмалардан да файдалана алу өчен шушы ике системаның берсеннән икенчесенә күчә белергә кирәк. Бу системалар арасындагы күчү бәйлелекләрен табыгыз. Сорауны болай куйыйк: 1 *кг* көч ничә Ньютонга, $1\ кг/см^2$, $1\ кг/мм^2$ ничә Паскальга тигез? Мегапаскаль төшенчәсен кулланыгыз: $1\ МПа = 10^6\ Па$.

Башка механика берәмлекләренә күчү эквивалентларын да табыгыз: эш берәмлеге 1 *Дж* ничә *кгм* га, егәрлек берәмлеге 1 *Вт* ничә *кгм/с* ка тигез?

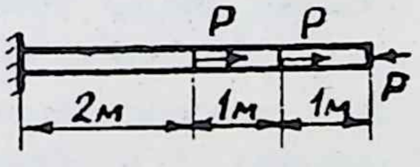
2.3. Рәсемдә күрсәтелгән стержень өчен нормаль көчәнеш эпюрын төзеп, куркынычлы киселешен табыгыз: $P = 10\ кН$, $F = 1\ см^2$.



2.3 мәсьәләгә



2.4 мәсьәләгә

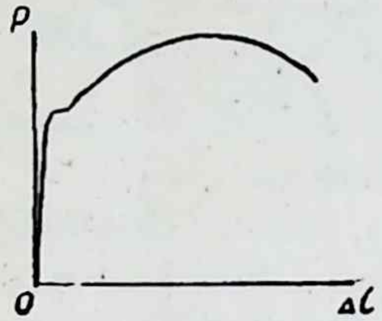


2.5 мәсьәләгә

2.4. Рәсемдә күрсәтелгән таякны тигез каршылыклы итеп проектлаштырыгыз: $P = 10$ *кН*, $[\sigma] = 160$ *МПа*. Таякның аркылы кисеме — квадрат, шуның ягын таякның һәрбер бүлемтеге өчен табыгыз.

2.5. Рәсемдә күрсәтелгән таякның озынаюын табыгыз, аның материалы — корыч, башта аркылы кисемен чыдамлык шартыннан табыгыз, $[\sigma] = 160$ *МПа*.

2.6. Материалның механик үзлекләрен билгеләр өчен 10 *мм* диаметрлы үрнәк сыналган. Машина диаграммасы рәсемдә бирелгән, көч күрсәткечнең контроль угы 3200 *кг* да туктаган (хәзергә көчне Ньютоннарда үлчи торган машиналар юк). Диаграммадан файдаланып, материалның механик үзлекләрен табыгыз, нәтиҗәләрен *МПа* га күчерегез. Сезнеңчә, бу нинди материал?



2.6 мәсьәләгә

2.7. Материалның сыгылмалылык (эластиклык) модулен һәм Пуассон коэффициентын билгеләү өчен мондый сынау үткәрелгән: 4 x 25 *мм* турыпочмаклы кисемле үрнәк сынау машинасында суздырылган. Үрнәктә беркетелгән буйлы T_1 һәм аркылы T_2 тензометрлары (аларның зурайту коэффициентлары $k = 1000$, нигезе $l = 20$ *мм*) мондый нәтиҗәләр күрсәткән:

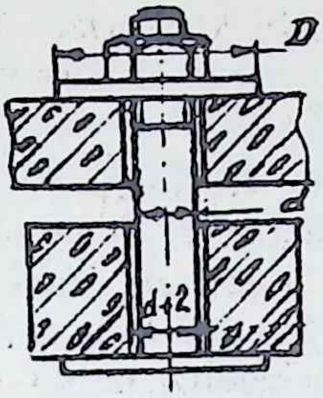
P, *кг*-көч:	50	250	450	650	850
T_1, *мм*:	21,0	23,0	25,5	27,5	29,0
T_2, *мм*:	25,0	24,5	24,0	23,0	22,5

Шушы мәгълүматлардан файдаланып, материалның эластиклык характеристикаларын табыгыз. Сезнеңчә, бу нинди материал?

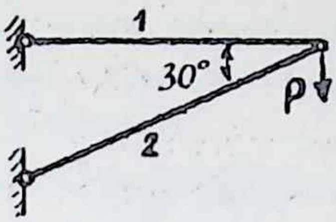
2.8. Рәсемдә күрсәтелгән болт йөк күтәреп тора. Йөкнең массасы 10 т, корычның рөхсәт ителгән көчәнеше $[\sigma]_к = 160$ *МПа*, бетонның кысуга рөхсәт ителгән көчәнеше $[\sigma]_б = 10$ *МПа*. Болтның һәм шайбаның диаметрларын табыгыз.

2.9. Ике таяктан торган кронштейнга йөк эленеп куелган, аның массасы 3 т. Таякларның берсе (1) — корычтан, икенче-

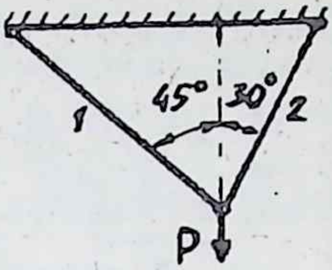
се — агачтан, ике таякның да аркылы кисемнәре түгәрәк. Корычның $[\sigma]_к = 160 МПа$, агачның $[\sigma]_a = 10\ МПа$ икәнлеген искә алып, таякларның диаметрларын табыгыз.



2.8 мәсьәләгә



2.9 мәсьәләгә

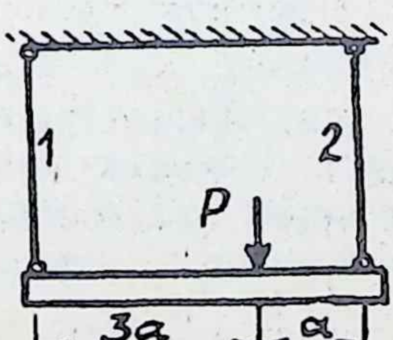


2.10 мәсьәләгә

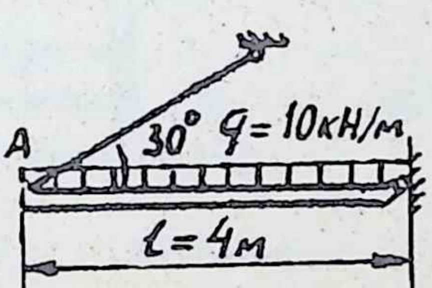
2.10. Беренче таяк — корычтан, аркылы кисеме — ягы 2 *см* булган квадрат, материалының агучанлык чиге 240 *МПа*, икенчесе — бакыр, аркылы кисеме 25 *мм* диаметрлы түгәрәк, агучанлык чиге 105 *МПа*. Чыдамлык запасы коэффициентын 1,5 кә тигез итеп алып, бу кронштейн күтәрә ала торган йөкне табыгыз.

2.11. Рәсемдә күрсәтелгән системаны проектлаштырыгыз: таякларның аркылы кисемнәрен табыгыз; $[\sigma]_1 = 60\ МПа$, кисеме түгәрәк, $[\sigma]_2 = 160\ МПа$, кисеме — тигезьяклы почмак; $P = 40 кН$.

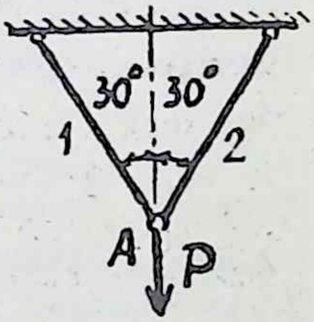
2.12. Таякның аркылы кисеме түгәрәк, материалы — корыч, $[\sigma] = 160\ МПа$, озынлыгы 1 *м*. Чыдамлык шартыннан чыгып, аның диаметрын табыгыз, шуннан соң A ноктасының төшү зурлыгын исәпләгез.



2.11 мәсьәләгә



2.12 мәсьәләгә



2.13 мәсьәләгә

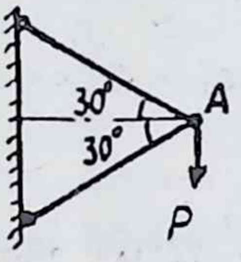
2.13. Таякларның беренчесе корыч, $[\sigma]_1 = 160\ МПа$, аркылы киседе 10 *мм* диаметрлы түгәрәк, икенчесе — дюралюминий, ($[\sigma]_2 = 120\ МПа$, аркылы кисеме ягы 15 булган квадрат). Таякларны чыдамлык шартына тикшерегез. *A* ноктасының тулы күчешен табыгыз.

2.14. Өстәге стержень — түгәрәк кисемле, астагысы — икетамга, икесе дә корычтан, йөкнең авырлыгы $P = 100\ кН$, таякларның озынлыгы 1 *м*. Чыдамлык шартыннан таякларның аркылы кисемнәрен табып, *A* ноктасының тулы күчешен исәпләп билгеләгез.

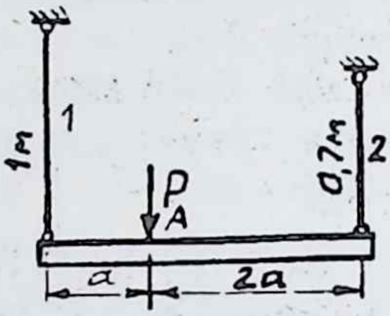
2.15. Ике таяк та корычтан, $F_1 = 1\ см^2$, $F_2 = 0{,}5\ см^2$, $l_1 = 1\ м$, $l_2 = 0{,}7\ м$. Йөкнең зурлыгын мондый шартлардан табыгыз:

1) чыдамлык шартлары үтәлгән булсын, $[\sigma] = 160\ МПа$;

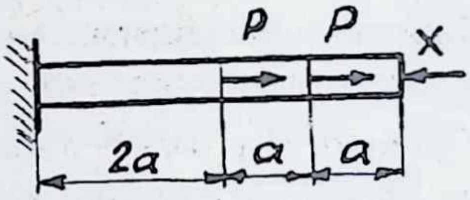
2) *A* ноктасы 0,5 *мм* дан да артык төшмәсен.



2.14 мәсьәләгә



2.15 мәсьәләгә



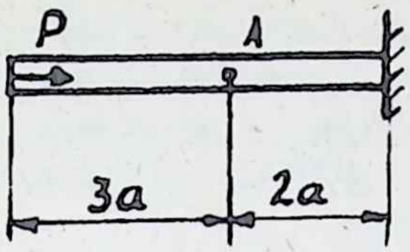
2.16 мәсьәләгә

2.16. Рәсемдә күрсәтелгән таякның уң башына кыса торган көч куеп, таякның озынаюын нульгә әйләндергәннәр. Шул көчнең зурлыгын табыгыз.

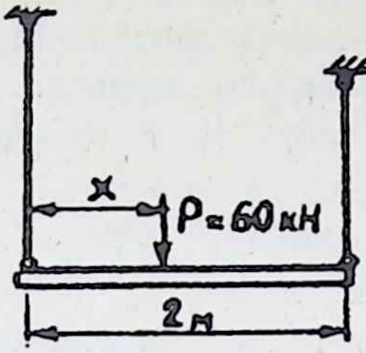
2.17. Таякның тулы кыскаруын нульгә әйләндерер өчен, *A* ноктасында нинди көч куярга кирәк?

2.18. Беренче таяк — корычтан, түгәрәк кисемле, $d = 20\ мм$, икенчесе — бакыр, квадрат кисемле, $a = 30\ мм$. Беренче таякның озынаюы икенчесенекеннән ике тапкырга артык булсын өчен *P* көчен кайда куярга кирәк? Шул очрактагы таякларның аркылы кисемнәрендәге нормаль көчәнешләрне табыгыз.

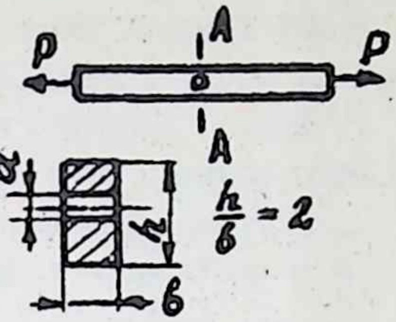
2.19. Элек (1.4 нче мәсьәләдә) күрсәтелгән стержень системалары өчен проектлаштыру исәпләвен үткәрегез. Таякларның кисемнәрен нормаль көченә туры китереп табыгыз (чыдамлык шартыннан, $P = 30 кН$, $[\sigma] = 160\ МПа$).



2.17 мәсьәләгә



2.18 мәсьәләгә



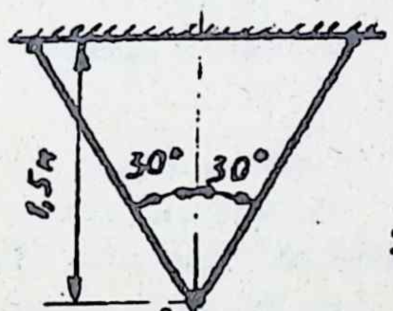
2.20 мәсьәләгә

2.20. Таякның аркылы түгәрәк тишеге бар, аның диаметры 3 *мм*. Турыпочмаклы аркылы кисемнең зурлыкларын табыгыз; $P = 0{,}2\ кН$, $[\sigma] = 120\ МПа$.

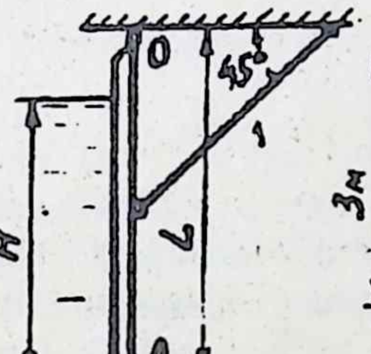
2.21. Ике таяк та бериш, $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^5\ МПа$, $F_1 = F_2 = 1{,}6\ см^2$, A ноктасы аска таба 1 *мм* га күчә.

Көчнең зурлыгын табыгыз.

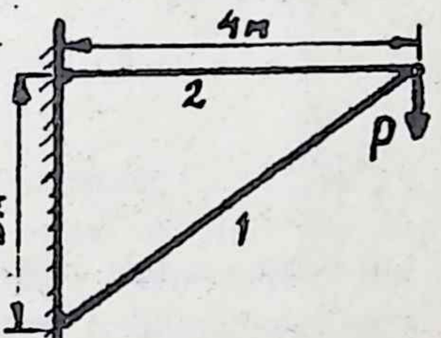
2.22. Су басымын капка (OA, биге — таяк - 1) тотып тора. Суның тирәнлеге 1 *м*, капканың иңе 1 *м*; таякның аркылы кисемен (ул ике швеллердан тора, $[\sigma] = 100\ МПа$) исәпләп табарга, $L = 2{,}5\ м$.



2.21 мәсьәләгә



2.22 мәсьәләгә

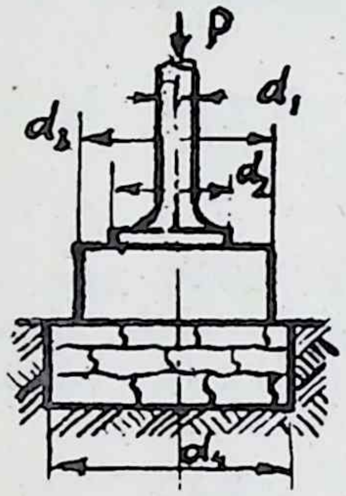


2.23 мәсьәләгә

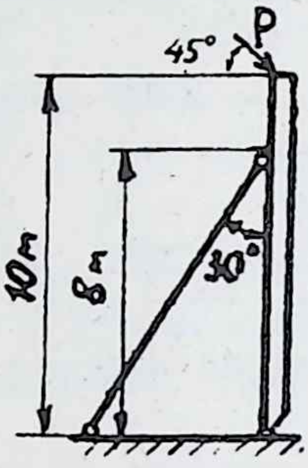
2.23. Кронштейнның астагы борысы — агачтан, $[\sigma] = 10\ МПа$, аркылы кисеме — квадрат, өстәгесе — корыч, тигезьяклы почмак (прокат профиле), $[\sigma] = 160\ МПа$. Чыдамлык шартыннан чыгып, борысларның аркылы кисемнәрен билгеләгез һәм көч $P = 50\ кН$ куелган ноктасының тулы күчешен табыгыз.

2.24. Чуен багана бетон плитә аша таштан ясалган фундаментка куелган. Барлык элементларның да аркылы кисемнәре түгәрәк. Рөхсәт ителгән көчәнешләр: чуенныкы 100 $МПа$, бетонныкы 10 $МПа$, ташныкы 2 $МПа$, җир (ком) өчен 0,3 $МПа$, баганага төшкән йөк $P = 1000\,кН$. Конструкция элементларының диаметрларын табыгыз.

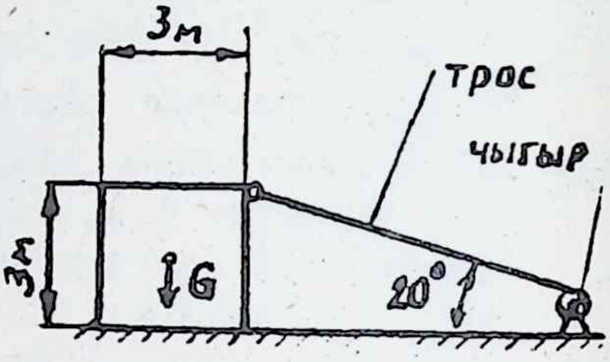
2.25. Корыч таякның аркылы кисеме — 20 $мм$ диаметрлы түгәрәк. Каты борыс OA ның өске очына P көче куелган. Көчнең зурлыгын һәм A ноктасының күчешен табыгыз; $[\sigma] = 160\ МПа$.



2.24 мәсьәләгә



2.25 мәсьәләгә



2.26 мәсьәләгә

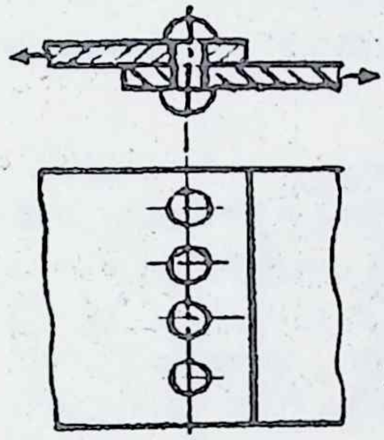
2.26. Рәсемдә күрсәтелгән кубны уң ягына әйләндереп куярга кирәк. Аның өчен чыгыр кулланыла, чыгырның тимер бавы горизонтка 20° ка авышкан. Кубның массасы 50 т, тросның рөхсәт ителгән көчәнеше $[\sigma] = 250\ МПа$; тросның диаметрын табыгыз.

2.27. Ике корыч табак заклепкалар белән ялганган, алар P көче белән сузыла. Табакларның иңе $b = 200\,мм$, калынлыгы $\delta = 5\ мм$, $[\sigma] = 160\ МПа$. Табакларның бөгелүен исәпкә алмыйча, йөкнең зурлыгын табыгыз. Табак ялгаусыз булган

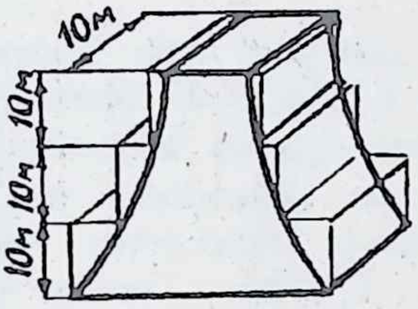
чактагы көчне дә билгеләгез. Әлегә заклепкаларны проектлаштырмыйбыз, аларның чыдамлыгы җитәрлек дип саныйбыз.

2.28. Лифт шахтадан йөк күтәрә. Шахтаның тирәнлеге 300 *м*, лифт кабинасының үз массасы 1 т. Тросның диаметры 5 *см*, тыгызлыгы 7 $^{г}/_{см^3}$, рөхсәт ителгән нормаль көчәнеш 200 *МПа*. Бу лифт күпме йөк күтәрә ала? (Мәсьәләне ике вариантта чишәргә: тросның үз авырлыгын исәпкә алмыйча һәм алып).

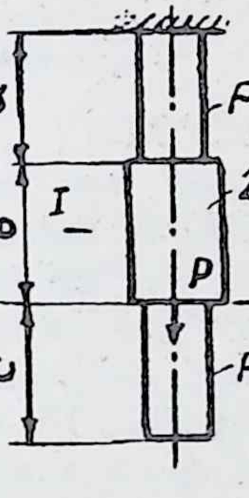
2.29. Күпернең терәгенә 1000 т массалы файдалы йөк туры килә. Ул бетоннан ясалган, бетонның тыгызлыгы 2,5 $г/см^3$, $[\sigma] = 4$ *МПа*, терәкнең биеклеге 30 *м*, буе 10 *м*. Шул терәкне тигез каршылыклы борыс формасында проектлаштырыгыз. Аннары 0.00, 10.00, 20.00 билгеләренә туры килгән мәйданнарын алып, терәкне баскыч формасында ясагыз. Килеп чыккан терәкнең массасын чагыштырыгыз: 1) тигез каршылыклы борыс массасы белән, 2) даими кисемле борыс массасы белән.



2.27 мәсьәләгә



2.29 мәсьәләгә



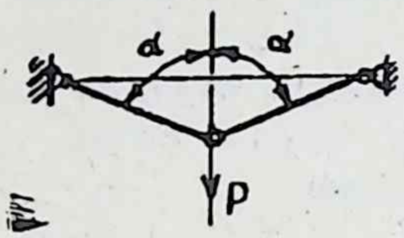
2.31 мәсьәләгә

2.30. Тигез каршылыклы борысның озынаюын ничек табарга?

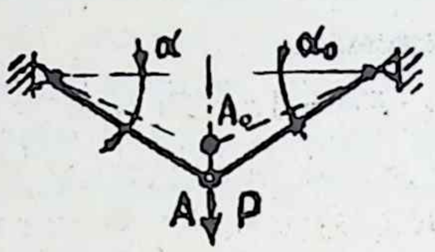
2.31. Рәсемдә күрсәтелгән борыска *P* көче куелган. Аның үз авырлыгын да исәпкә алып, деформацияләрен билгеләргә һәм озынаю эпюрын төзергә. Аерым алып, I-I кисеменең көчешен исәпләп билгеләргә. Бирелгән зурлыклар: $P = 20\ кН$, $F = 2\ см^2$, $\rho = 7850\ ^{кг}/_{м^3}$, $a = b/2 = c = 1\ м$, $E = 2\cdot 10^5\ МПа$.

2.32. Материаллар каршылыгы мәсьәләләрен чишкәндә, деформацияләрнең кечкенә булуы гипотезасы нигезендә, җисемнең зурлыклары үзгәрми дип санала. Ул гипотезаның, әлбәттә, чиге бар. Рәсемдә күрсәтелгән мисалда шундый ахыр чиктәге α почмагы зурлыгын табыгыз. Стерженьнәрнең деформациясе 0,001 дән, ә эчке көчләрне билгеләүнең төгәлсезлеге 5 проценттан артмасын.

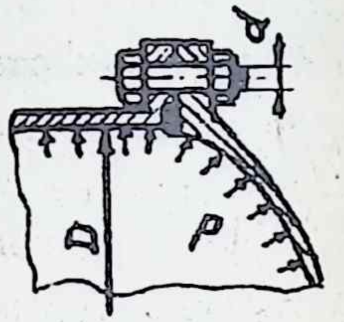
2.33. Ике бердәй корыч таяк ($l = 1$ *м*, $F = 100$ *мм*^{2}) A_0 ноктасында шарнирлы тоташтырылган, аларның горизонтальдән башлангыч авышу почмагы $\alpha_0 = 5^\circ$, көчнең зурлыгы $P = 3$ *кН*. Шул таяклардагы нормаль көчне һәм почмакның яңа кыйммәтен табыгыз.



2.32 мәсьәләгә



2.33 мәсьәләгә



2.34 мәсьәләгә

2.34. Химия аппараты эчендәге газ басымы $p = 6{,}4$ *МПа*. Аның капкачы корпусы белән М 27 болтлары ярдәмендә тоташтырылган. Цилиндрның эчке диаметры $D = 600$ *мм*. Болтлар өчен рөхсәт ителгән көчәнешне $[\sigma] = 120$ *МПа* зурлыгында алып, аларның санын билгеләгез (винт сырының эчке диаметры 23,75 *мм*). Табылган санны 4 кә я 6 га бүленә торган санга түгәрәкләгез.

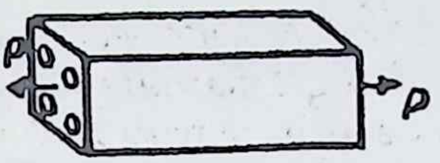
2.35. Тимер-бетон борыс P көчләре белән сузыла. Тимер арматура аның күләменең 5 процентын тәшкил итә. Тимернең эластиклык модуле бетонныкыннан 15 тапкырга артык. Куелган көч бетон белән тимер арасында ничек бүленә?

2.36. Системаны йөкләгән көч 2 нче таякның уртасындагы C ноктасында куелган; 1 нче һәм 3 нче таяклары бериш,

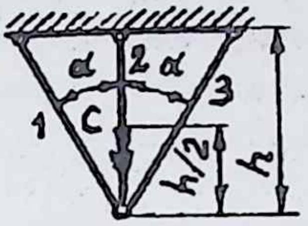
$$\alpha = 30^\circ,\ E_1F_1 = \frac{E_2F_2}{2},\ P = 10\ кН,$$

таяклардагы нормаль көчләрне табарга.

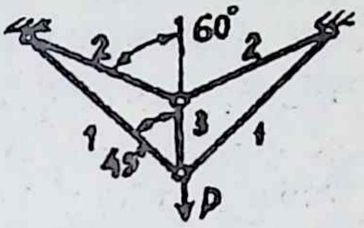
2.37. Симметрик стержень системасында
$E_1 = E_2 = 2E_3$; $F_1 : F_2 : F_3 = 1:2:3$,
$P = 30 кН, [\sigma]_1 = [\sigma]_2 = 160 МПа$, $[\sigma]_3 = 80 МПа$.
Таякларның аркылы кисем мәйданнарын табыгыз.



2.35 мәсьәләгә



2.36 мәсьәләгә



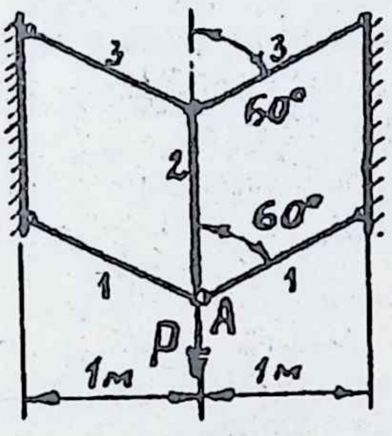
2.37 мәсьәләгә

2.38. Симметрик системада

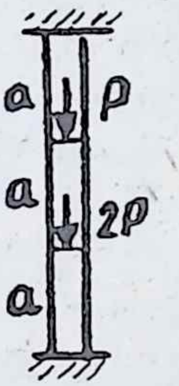
$F_1 = 2F_2 = 3F_3$, $F_1 = 1 см, E_1 = E_2 = E_3 = 2 \cdot 10^5 \ МПа$,

$l_1 = l_2 = l_3 = 1 \ м$, A ноктасы вертикаль юнәлештә 1 *мм* га күчә. P көченең зурлыгын исәпләп табыгыз.

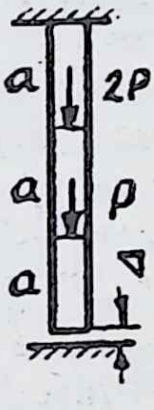
2.39. Рәсемдә күрсәтелгән багананың өч бүлемтегендә дә барлыкка килгән нормаль көчне табыгыз.



2.38 мәсьәләгә



2.39 мәсьәләгә



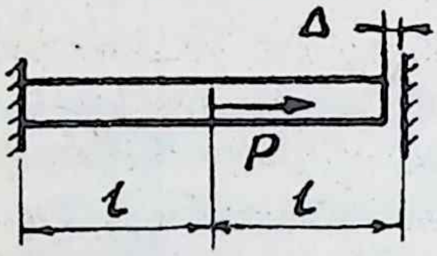
2.40 мәсьәләгә

2.40. Корыч таяк (түгәрәк кисемле, диаметры 20 *мм*, $a = 30 \ см$), рәсемдә күрсәтелгәнчә, өске очы белән беркетелгән, ә аскы очы $\Delta = 0{,}2 \ мм$ зурлыгына «идәнгә» җитми. Көчләрне куйгач, ул ярык ябыла һәм B терәгендә дә реакция барлыкка килә. Шул реакцияне һәм таякның барлык бүлемтек-

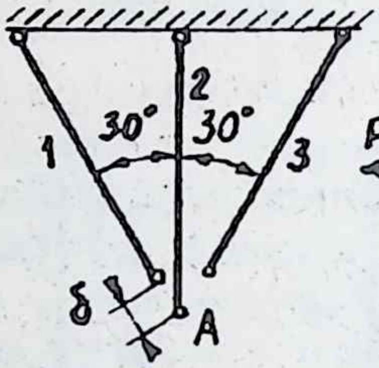
ләрендәге нормаль көчләрне һәм көчәнешләрне табыгыз; $P = 20кН$, $F = 5см^2$.

2.41. Таякның озынлыгы аралыктан аз гына (Δ га) ким. Көч куелгач һәм температура күтәрелгәч, ул ярык ябыла һәм таякның аркылы кисемнәрендә нормаль көч килеп чыга. Шул нормаль көчне билгеләп, аның эпюрын төзегез, максималь нормаль көчәнешне табыгыз;
$\Delta = 0{,}2мм$, $l = 1\ м$, $E = 2{\cdot}10^5\ МПа$, $P = 20кН$, $F = 1см^2$, $\alpha = 12{,}5\cdot10^{-6}\ 1/К$, $\Delta t = +20^o$.
Уң яктагы реакция нульгә тигез булсын өчен, температураны күпмегә күтәрергә кирәк? Сул якта реакция булмасын өчен температура ничек үзгәрергә тиеш?

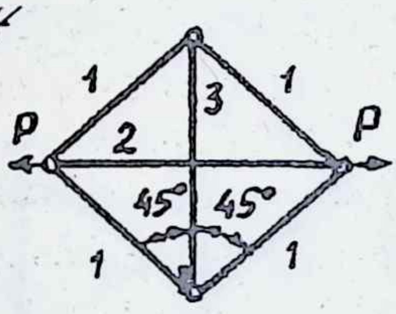
2.42. Күрсәтелгән конструкциянең стерженьнәре A ноктасында тоташырга тиеш, ләкин 1 һәм 2 стерженьнәре тиешледән δ га кыскарак ясалган. Шул төгәлсезлектән килеп чыккан эчке көчләрне табыгыз; $l_2 = 1\ м$, $F = 2\ см^2$, $\delta = 0{,}1\,мм$, материалы —корыч.



2.41 мәсьәләгә



2.42 мәсьәләгә



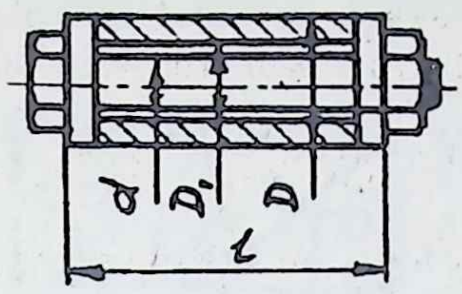
2.43 мәсьәләгә

2.43. Рәсемдә күрсәтелгән таякларның $E_2F_2 = E_3F_3$. Шул таякларда барлыкка килгән эчке көчләрне табыгыз.

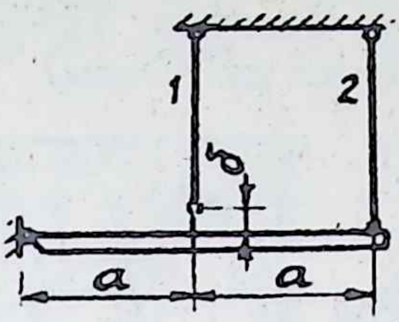
2.44. Алдагы мәсьәләне аз гына үзгәртик: беренче таякның катылыгы икенче һәм өченченекеннән бик күп тапкырга зуррак. Бу очрактагы эчке көчләрне табыгыз.

2.45. Винт сырының адымы $s = 1\ мм$. Гайканы тулысынча (ярыклар беткәнче) борганнан соң, аны тагын чирек адымга кысып борганнар. Болтның материалы — корыч, көпшәнеке — бакыр.

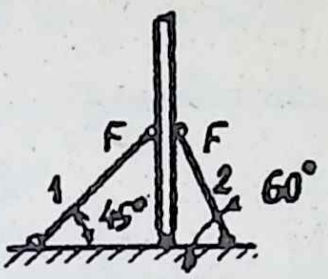
Конструкциянең зурлыклары:
$d = 10$ *мм* ,$D_1 = 12$ *мм*, $D_2 = 20$ *мм*, $l = 200$ *мм*.
Болттагы һәм көпшәдәге нормаль көчне (N_0) билгеләгез.



2.45 мәсьәләгә



2.48 мәсьәләгә



2.49 мәсьәләгә

2.46. Даими аркылы кисемле 5 *м* озынлыктагы корыч ($E = 2\cdot10^5$ *МПа* , $\mu = 0{,}25$) таяк очларына куелган $P = 250$ *кН* көчләре тәэсир итүеннән сузыла. Күләм үзгәрүен табыгыз.

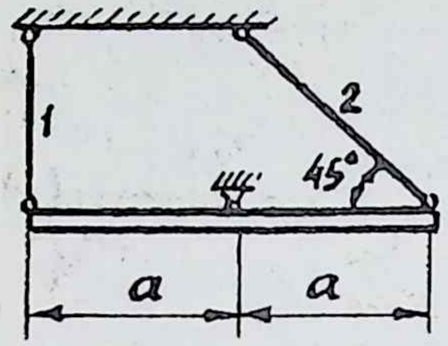
2.47. Таякның аркылы кисеме мәйданы сызыкча закон буенча үзгәрә: $F(z) = F_0 + kz$.
Ул ике капма-каршы юнәлгән бердәй көчләр тәэсиреннән сузыла. Көчләрне кую нокталарының арасы l, материалның эластиклык характеристикалары E , μ. Күләм үзгәрүен табыгыз.

2.48. Каты борыс шарнир ярдәмендә стенага беркетелгән һәм ике таякка эленеп куелган. Таякларның аркылы кисемнәре бертигез, материаллары да бериш. Таякларның икесендә дә бертигез нормаль көч булуы шартыннан δ зурлыгын табыгыз.

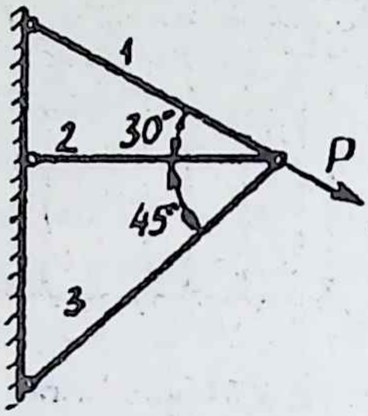
2.49. Каты борыс идәнгә шарнирлы терәлгән һәм аны ике тимер таяк тотып тора. Бу конструкция 20^oC температурада җыела, шуннан соң температура 45 градуска кадәр күтәрелә. Таяклардагы шушыңа бәйле көчәнешләрне табыгыз.

2.50 Беренче таяк — корычтан, икенчесе — дюралюминий. Конструкция җыелганнан соң, температура 30 градуска күтәрел-гән. Таякларның аркылы кисемнәрендәге көчәнешләрне табыгыз; $F_2 = 2F_1$.

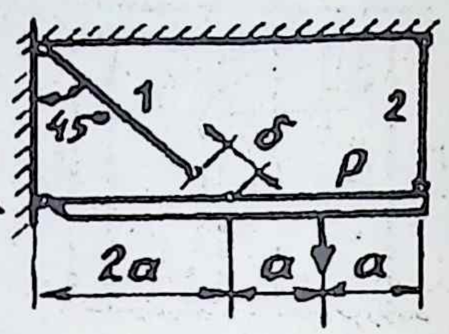
2.51. Беренче таякның материалы — корыч, икенчесенеке — бакыр, өченчесенеке — дюралюминий, аркылы кисемнәре $F_1:F_2:F_3 = 1:2:3$, рөхсәт ителгән көчәнешләр $[\sigma]_1 = 160$ *МПа*, $[\sigma]_2 = 60$ *МПа*, $[\sigma]_3 = 80$ *МПа*; кронштейнга куелган көч беренче таяк буйлап юнәлгән. Таякларның аркылы кисемнәрен табыгыз (алар барысы да түгәрәк).



2.50 мәсьәләгә



2.51 мәсьәләгә



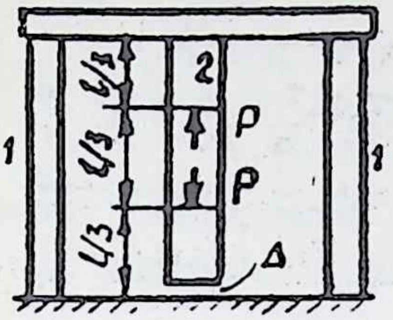
2.52 мәсьәләгә

2.52. Таякларның икесе дә корычтан ясалган, аркылы кисемнәре түгәрәк, $d_1 = d_2 = 10$ *мм*. Икенче таякта көчәнеш беренчесендәгегә караганда ике тапкырга зуррак булуы шартыннан δ зурлыгын табыгыз; $a = 1$ *м*.

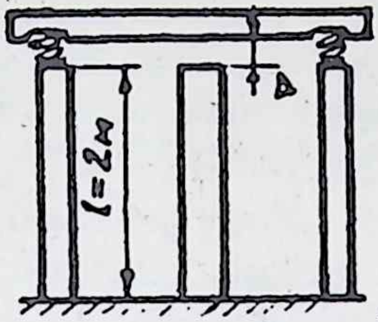
2.53. Йөк куйганчы идән белән уртадагы борыс арасында $\Delta = 1$ *мм* ярык бар. Бирелгән зурлыклар:
$l = 1{,}5$ *м*, $F_1 = 10$ *см*^{2}, $F_2 = 20$ *см*^{2}, $E_1 = 2\cdot 10^5$ *МПа*,
$E_2 = 10^5$ *МПа*.
Шул ярык нинди көч тәэсир итүеннән ябыла? Ул вакытта таяклардагы көчләр нинди? Шуннан соң көчне ике тапкырга арттыргач, таяклардагы нормаль көчләр ничек үзгәрә? Ике очракта да уртадагы таяк өчен нормаль көч эпюрын төзегез.

2.54. Каты борыс өч багана өстендә ята. Кырыйдагы баганалар — корычтан, аркылы кисемнәренең мәйданы 20*см*^{2}, уртадагысы — чуен, кисем мәйданы — 50 *см*^{2}. Кырыйдагы багана белән каты борыс арасына пружина куелган, аның эластиклыгы $\lambda = 5\cdot 10^{-6}$ *мм/Н*; уртадагы багана белән борыс арасында ярык бар ($\Delta = 1$ *мм*). Барлык баганалардагы көчәнешләрне табыгыз; $P = 1000$ *кН*.

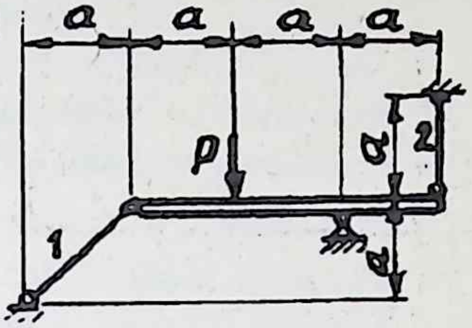
2.55. Рәсемдә күрсәтелгән конструкциягә P көче куелган. Таякларның беренчесе — корыч, түгәрәк аркылы кисемле, диаметры 20 *мм*, икенчесе — дюралюминий, аркылы кисеме ягы 15 *мм* булган квадрат, $[\sigma]_1 = 160 МПа$, $[\sigma]_2 = 80\ МПа$. Көчнең рөхсәт ителгән зурлыгын табыгыз.



2.53 мәсьәләгә



2.54 мәсьәләгә



2.55 мәсьәләгә

2.56. Нечкә корыч бождрага (радиусы 50 *см*, калынлыгы 1 *мм*, иңе 10 *мм*) эчке ягыннан 400 $Н/см$ зурлыгындагы таралган көч куелган. Бождраның диаметры һәм иңе үзгәрешләрен табыгыз. Материалның эластиклык характеристикалары: $E = 2 \cdot 10^5\ МПа$, $\mu = 0{,}25$.

257. Ике катлы торбаның тышкы өлеше корычтан, калынлыгы 2 *мм*, эчкесе – дюралюминийдән, калынлыгы 3 *мм*; торбаның диаметры 200 *мм*, ул 10 *МПа* зурлыгындагы эчке басым белән йөкләнгән. Күчәре буйлап юнәлгән көчәнешне нульгә тигез дип санап, торба катларындагы әйләнә буйлап юнәлгән көчәнешләрне билгеләгез. Корычның эластиклык модулен $2 \cdot 10^5$ *гә*, дюралюминийныкын $0{,}7 \cdot 10^5$ *МПа* га тигез дип алыгыз.

2.58. Конус сыман корыч борыс (нигезләренең диаметрлары 2 һәм 1,5 *см*, озынлыгы 1 *м*) $P = 20\ кН$ көче белән сузыла. Аның озынаюын табыгыз.

3. Көчәнешле халәт теориясе һәм чыдамлык теорияләре

3.1. Стержень (аркылы кисеменең мәйданы $5\ см^2$) $P = 30\ кН$ көч тәэсиреннән сузыла. Аркылы кисемдәге һәм аңа 30^0 ка авышкан кисемдәге нормаль, орынма һәм тулы көчәнешләрне табыгыз. Сузу очрагындагы максималь нормаль һәм орынма көчәнешләрне һәм алар тәэсир итә торган кисемнәрне табыгыз.

3.2. Сузылган таякның 45^0 ка авышкан кисемендәге нормаль көчәнеш 100 *МПа* булсын, аркылы кисем мәйданы 3 $см^2$. Таякны сузган көчне табыгыз.

3.3. Стерженьне 50 *кН* көч кыса. Аның аркылы кисеме түгәрәк, 30^0 ка авышкан кисемдә орынма көчәнеш 80 *МПа* га тигез булуы шартыннан стерженьнең диаметрын табыгыз.

3.4. Материалдагы орынма көчәнеш 100 *МПа* дан артырга тиеш түгел. Сузыла торган таякның аркылы кисеме — турыпочмаклык, аның якларының берсе икенчесеннән 5 тапкырга зуррак. Суза торган көч 400 *кН*. Аркылы кисемнең зурлыкларын табыгыз.

3.5. Сузылган таякның ниндидер бер авыш кисемендә нормаль көчәнеш 70,7 *МПа* һәм орынма көчәнеш 50 *МПа* тәэсир итә. Шул авыш кисемне һәм таяктагы иң зур нормаль көчәнешне табыгыз.

3.6. Сузылган таякның бер ноктасында тулы көчәнеш орынма көчәнештән 2 тапкырка зур һәм 30 *МПа* тәшкил итә. Мор түгәрәген төзеп, таякның аркылы кисемендәге көчәнешне табыгыз.

3.7. Сузылган таякның нинди кисемендә орынма һәм нормаль көчәнеш бер-берсенә тигез? Нормаль көчәнеш орынма көчәнештән ике тапкырга зуррак? Нормаль көчәнеш орынма көчәнештән ике тапкырга кимрәк?

3.8. Яссы көчәнешле халәт очраклары өчен төп көчәнешләрне номерлап чыгыгыз:

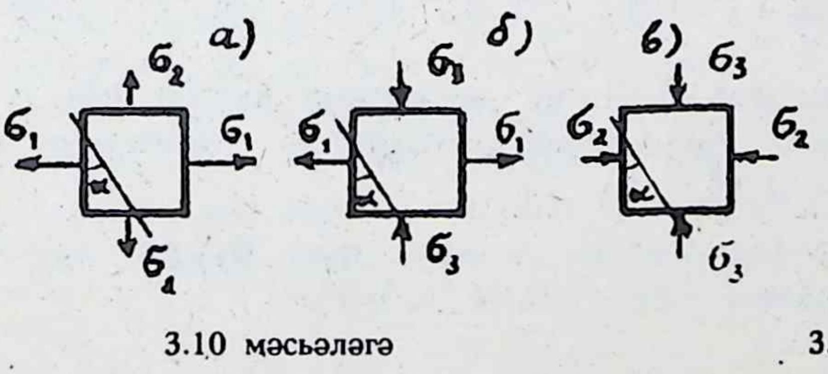
1) –20, 0, 120 *МПа*;
2) 20, —120, 0 *МПа*;

3) 30, 0, 120 *МПа*;
4) —10, 0, —50 *МПа*.

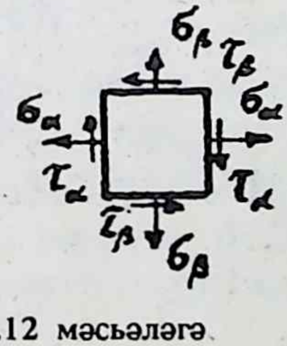
3.9. Яссы көчәнешле халәттәге җисемнең ноктасы аша үткән бер кисемдә тулы көчәнеш (50 *МПа*) орынма көчәнештән ике тапкырга артык, шул кисемгә перпендикуляр булган кисемдә орынма көчәнеш кенә бар. Бирелгән ноктадагы иң зур нормаль көчәнешне исәпләгез.

3.10. Бирелгән яссы көчәнеш очракларында авыш кисемдәге нормаль һәм орынма көчәнешләрне табыгыз (аналитик я график ысул белән):

	σ_1, *МПа*	σ_2, *МПа*	σ_3, *МПа*	α, *градус*
1	100	100	0	теләсә нинди
2	100	60	0	45
3	120	20	0	30
4	150	0	—75	60
5	100	0	—100	—45
6	150	0	—150	30
7	100	0	—100	45
8	0	—100	—120	—30
9	0	—20	—120	—60
10	0	—120	—120	теләсә нинди



3.10 мәсьәләгә



3.12 мәсьәләгә

3.11. Эчке басым астында булган цилиндр сыман тышчада тангенциаль көчәнеш меридиональ көчәнештән ике тапкырга артык, ә радиаль көчәнеш нуль дип санала: $\sigma_m = 50$, $\sigma_t = 100$ *МПа*, $\sigma_r = 0$. Шул юнәлешләргә 45° ка авышкан кисемдәге тулы көчәнешне табыгыз.

3.12. Бирелгән яссы көчәнешле халәт очракларындагы төп көчәнешләрне һәм алар тәэсир итә торган (төп) мәйданчыкларны табыгыз. Чишүне аналитик ысул я Мор түгәрәге ярдәмендә алып барырга ярый.

	σ_α, *МПа*	σ_β, *МПа*	τ_α, *МПа*
1	40	20	10
2	80	20	40
3	100	100	—100
4	80	—80	20
5	100	0	30
6	0	—80	20
7	0	0	100
8	0	0	—100
9	100	50	50
10	0	30	30

3.13. Моннан алдагы мәсьәләдә китерелгән көчәнешле халәт очраклары өчен чагыштырма потенциаль энергияне табыгыз; корыч, $\mu = 0{,}25$.

3.14. Көчәнешле халәтнең 3.12 нче мәсьәләдә китерелгән очраклары өчен форма үзгәрүенең потенциаль энергиясен табыгыз; корыч, $\mu = 0{,}25$.

3.15. Саф шуышу очрагындагы шуышу һәм буйлы деформацияләр арасындагы бәйлелекне табыгыз.

3.16. Бирелгән көчәнеш халәте өчен төп деформацияләрне табыгыз: $\sigma_1 = 120$, $\sigma_2 = 60$, $\sigma_3 = 60$ *МПа*, материалы — корыч. Деформациянең потенциаль энергиясен һәм аның күләм һәм форма үзгәрүе белән бәйләнгән өлешләрен табыгыз.

3.17. Күрсәтелгән көчәнешле халәт очраклары өчен I һәм II чыдамлык теорияләре буенча эквивалентлы көчәнешне табыгыз:

1) 120, 100, 80 *МПа;*

2) 100, 100, 100 *МПа;*

3) 100, 0, —100 *МПа;*

4) 100, —100, —100 *МПа;*

5) 0, —50, —100 *МПа*; корыч.

3.18. Күрсәтелгән көчәнешле халәт очраклары өчен III һәм IV чыдамлык теорияләре буенча эквивалентлы көчәнешне табыгыз:

1) 120, 100, 80 *МПа;*

2) 100, 100, 100 *МПа*;

3) 100, 0, —100 *МПа*;

4) 100, —100, —100 *МПа;*

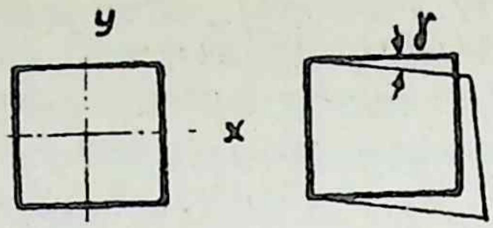
5) 0, —50, —100 *МПа*.

3.19. Мор теориясе буенча шушы чуен детальнең чыдамлыгын тикшерегез: $\sigma_1 = 15$ *МПа*, $\sigma_2 = -40$ *МПа*, $\sigma_3 = -60$ *МПа*, $[\sigma]_{сузу} = 30$ *МПа*, $[\sigma]_{кысу} = 100$ *МПа*.

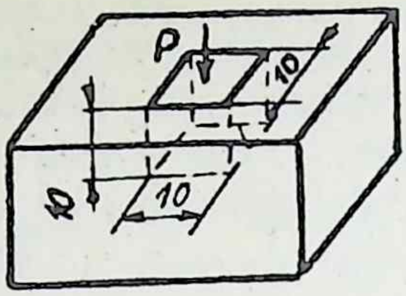
3.20. Җисемнән бүлеп алынган элементның (яссы көчәнеш халәте) деформацияләре үлчәнгән: $\varepsilon_x = 0{,}0005$, $\varepsilon_y = 0{,}0002$, $\gamma = 0{,}00012$.

Төп көчәнешләрне һәм төп мәйданчыкларны табыгыз (материалы — корыч).

3.21. Каты плитәдә куб формасында (зурлыклары 1x1x1 *см*) уемтык ясалган һәм шул уемтыкка, тыгыз , ярыксыз итеп, корыч куб урнаштырылган. Кубка өстән $P = 7{,}5$ *кН* көче тәэсир итә. Плитәне абсолют каты, ә куб материалының Пуассон коэффициенты $\mu = 0{,}25$ дип алып, корыч кубтагы төп көчәнешләрне билгеләгез.



3.20 мәсьәләгә



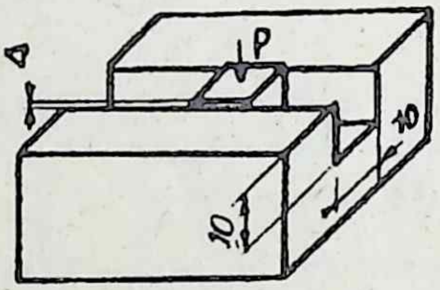
3.21 мәсьәләгә

3.22. Алдагы мәсьәләдә куб материалының Пуассон коэффициенты $\mu = 0{,}5$ булса, мәсьәләнең нәтиҗәсе ничек үзгәрә?

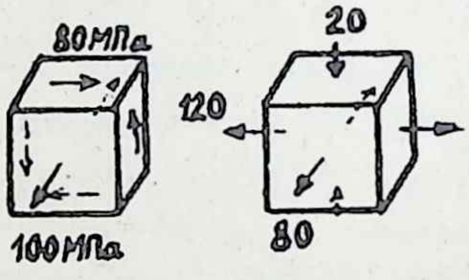
3.23. Куб һәм уемтык яклары арасында 0,01 *мм* зурлыгында ярык булса, 3.21 нче мәсьәләнең нәтиҗәсе ничек үзгәрер?

3.24. Корыч куб, рәсемдә күрсәтелгәнчә, абсолют каты плитә ырмавына куелып, $P = 10\ кН$ көче белән кысыла. Материалның Пуассон коэффициенты $\mu = 0{,}3$ дип санап, кубтагы барлык төп көчәнешләрне табыгыз. Шулай ук мондый шарттан Δ зурлыгын табыгыз: кысылганнан соң кубның өсте плитәнекеннән 0,02 *мм* га калкып торсын.

3.25. Рәсемдә ике көчәнешле халәт күрсәтелгән. Аларның кайсысы куркынычлырак? III чыдамлык теориясен кулланыгыз.



3.24 мәсьәләгә



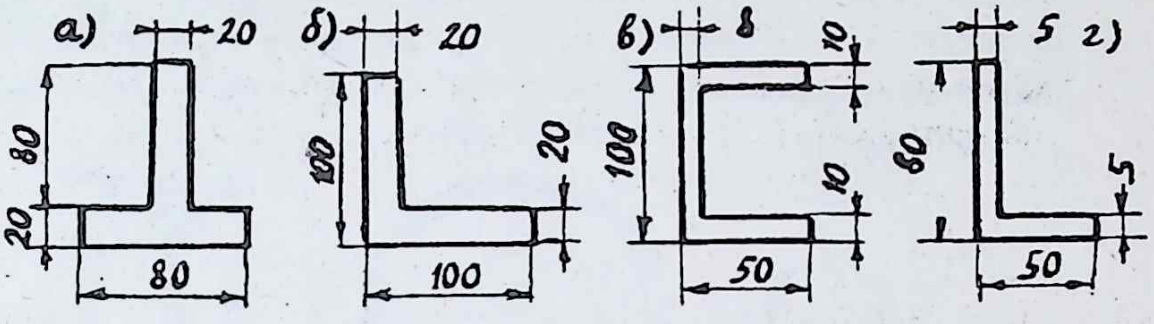
3.27 мәсьәләгә

3.26. Тимер шар 4 *км* тирәнлеккә су астына төшерелгән. Аның диаметры 20 *см*, эластиклык характеристикалары: $E = 2 \cdot 10^5\ МПа$, $\mu = 0{,}25$. Шарның күләме үзгәрүен табыгыз.

3.27. Ирекле формалы җисемгә барлык якларыннан тигез басым (p) тәэсир итә. Шул сәбәпле җисемнең озынлыгы һәм күләме (йөкләнгәнче l һәм V) күпмегә үзгәрә? Материалның эластиклык характеристикалары билгеле.

4. Яссы кисемнәрнең геометрик характеристикалары

4.1. Рәсемдә күрсәтелгән кисемнәрнең үзәген табыгыз (зурлыклары — *мм* да).

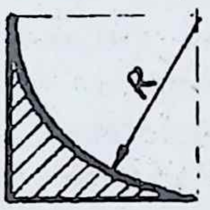


4.1 мәсьәләгә

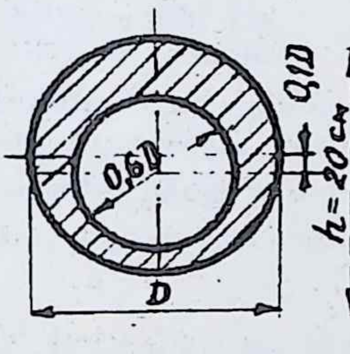
4.2. Түгәрәк чирегенең үзәген табыгыз.

4.3. Рәсемдә күрсәтелгән кисемнең үзәген табыгыз (түгәрәк чирегенең үзәге билгеле булсын — 4.2 нче мәсьәләнең чишелешен алыгыз).

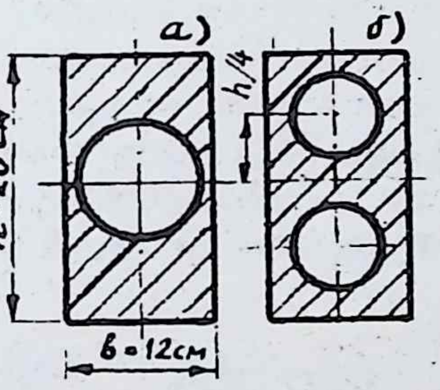
4.4. Рәсемдә күрсәтелгән фигураның үзәген табыгыз.



4.3 мәсьәләгә



4.4 мәсьәләгә



4.8 мәсьәләгә

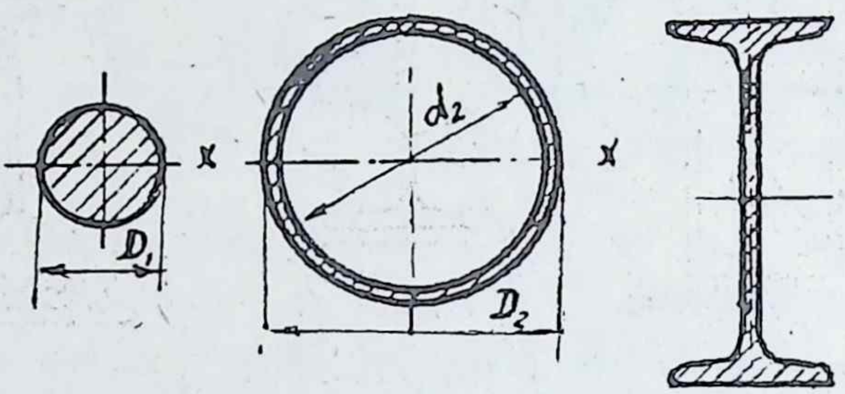
4.5. Түгәрәкнең сызыкча инерция моментын табыгыз (поляр моментын кулланмыйча гына).

4.6. Ярымтүгәрәкнең төп үзәк күчәрләре өчен инерция моментларын табыгыз.

4.7. Квадратның инерция моментлары координат күчәрләре борылганнан үзгәрәме?

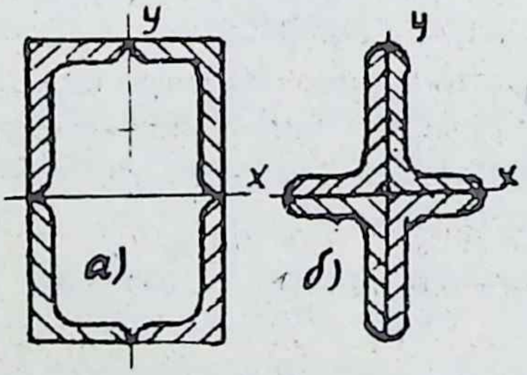
4.8. Балканы җиңеләйтер өчен, аның аркылы киселеш мәйданын киметергә кирәк. Күрсәтелгән балканы 30 процентка җиңеләйтү мәсьәләсе кайсы очракта дөрес эшләнгән: *а* яки *б* очрагындамы? Зуррак инерция моменты булган очракны дөрес дип санарбыз.

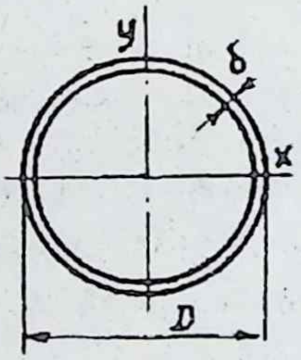
4.9. Рәсемдә бертигез мәйданлы өч төрле фигура күрсәтелгән: тоташ түгәрәк, куыш түгәрәк һәм икетамга. Шул кисемнәрнең x күчәре янындагы инерция моменты зурлыкларын табып чагыштырыгыз; $c = d_2/D_2 = 0{,}9$, $D_1 = 8$ *см* .

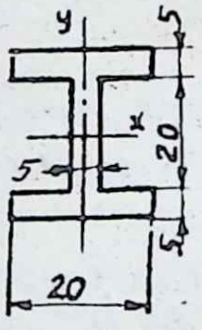


4.9 мәсьәләгә

4.10. Рәсемдә күрсәтелгән балкалар төрле яклы почмаклардан ясалган, почмакның номеры 8/5(6). Шул балкалар кисемнәренең x һәм y күчәрләре янындагы инерция моментларын табып чагыштырыгыз (*б* очрагын караганда, таблицадан әзер нәтиҗә алып була, андагы I_{x1} , I_{y1} дип билгеләгән инерция моментларына игътибар итегез).





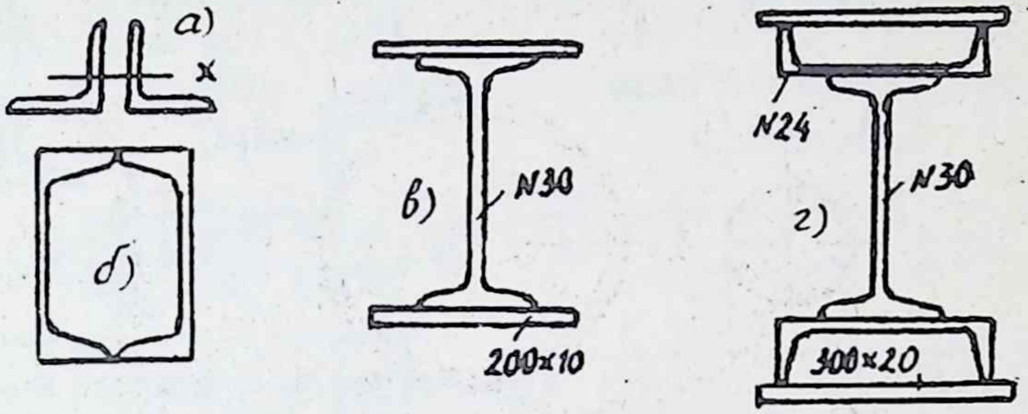


4.10 мәсьәләгә 4.11 мәсьәләгә 4.12 мәсьәләгә

4.11. Нечкә боҗраның ($\delta = D/20$), I_p, I_x, I_y, инерция моментларын, бөтерү һәм бөгүгә каршы тору моментларын һәм инерция радиусын билгеләгез.

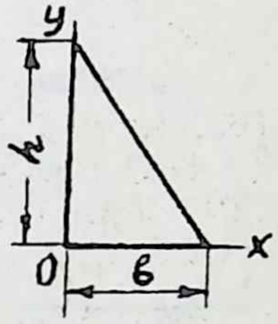
4.12. Рәсемдә күрсәтелгән ике симметрик күчәрле кисемнең төп инерция моментларын билгеләгез (зурлыклар — *см* да).

4.13. Рәсемдә күрсәтелгән симметрик кисемнәрнең I_x инерция моментын табыгыз.



4.13 мәсьәләгә

4.14. Турыпочмаклы өчпочмакның I_x, I_y, I_{xy} инерция моментларын табыгыз.



4.14 мәсьәләгә

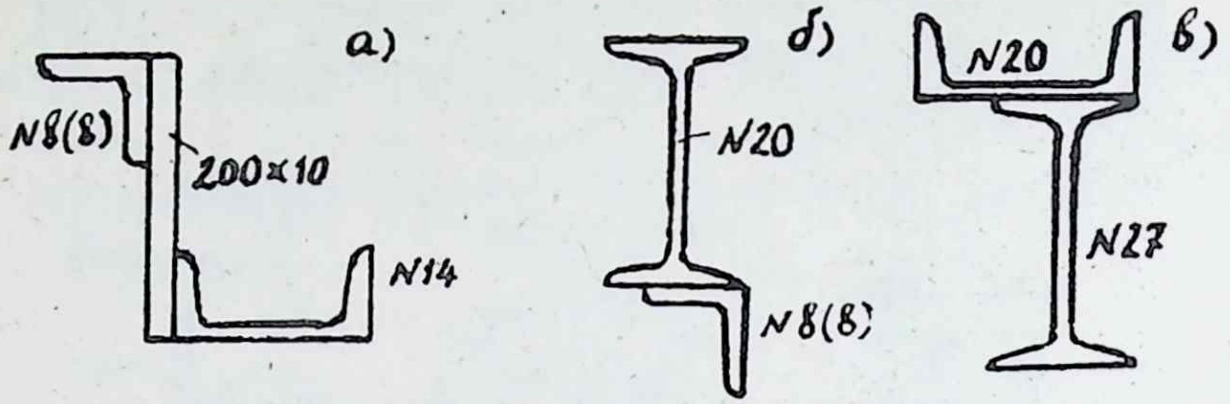
4.15. Өчпочмакның нигезенә параллель һәм аның үзәге аша үткән күчәр янындагы инерция моментын табыгыз.

4.16. Мисал өчен берәр прокат профиленең (мәсәлән, төрле яклы 8/5(6) номерлы почмакның) төп инерция моментларын табып, таблицада бирелгән зурлыклар белән чагыштырып карагыз (почмакны ике турыпочмакка бүлегез).

4.17. Рәсемдә күрсәтелгән кисемнәрнең төп инерция моментларын билгеләп, инерция эллипсын төзегез.

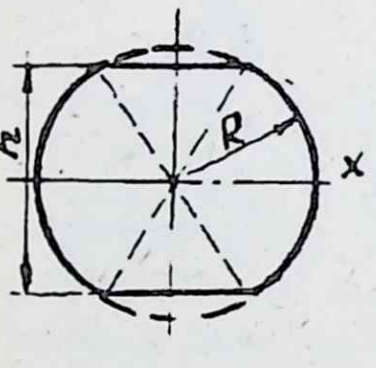
4.18. Төзек күпкырлыкның төп инерция моментларын табыгыз, башта аны тәшкил иткән өчпочмакларны күзәтеп,

күпкырлыкның поляр инерция моментын табыгыз. Формуланың ике вариантын чыгарыгыз: күппочмакның ягы һәм камаучы радиусы аша.



4.17 мәсьәләгә

4.19. Түгәрәктән камаулы турыпочмаклык ясарга кирәк. Аның зурлыкларын: 1) инерция моменты, 2) каршылык моменты максималь булу шартыннан табыгыз.



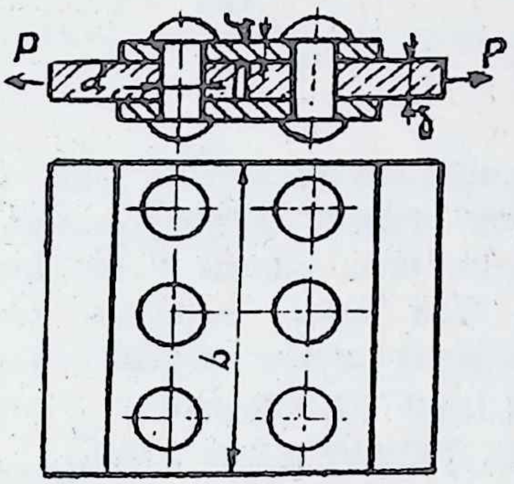
4.20 мәсьәләгә

4.20. Кисемнең мәйданы кимесә, аның инерция моменты, әлбәттә, кими. Ә каршылык моменты? Кисемнең каршылык моменты (W_x) максималь булу шартыннан h зурлыгын табыгыз.

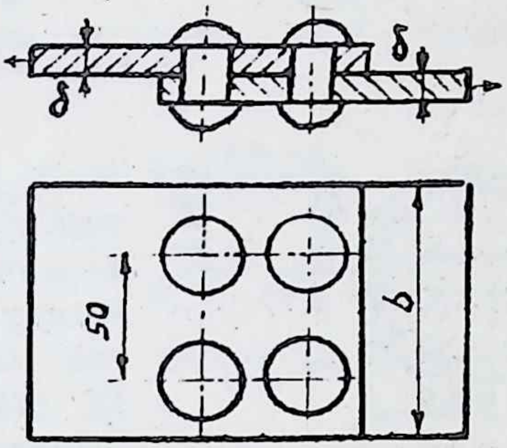
4.21. Ике шар бирелгән, аларның зурлыклары, массалары бертигез, аерма шунда гына: берсе тоташ, икенчесе — куыш. Аларны ничек билгеләргә?

5. Шудырып күчерү һәм бөтерү

5.1. Корычтан эшләнгән ике табак чүкеп ябыштырылган. Тоташтырылган урынга $P = 40\ кН$ сузу көче тәэсир итә. Табакларның иңе $b = 200\ мм$, калынлыгы $\delta = 6\ мм$. Чыдамлык шартларыннан чыгып, тоташтырылган урынның зурлыкларын билгеләгез. Материалның (табакларның да, заклепкаларның да) чыдамлык характеристикалары: $[\sigma] = 160\ МПа$, $[\tau] = 80\ МПа$, $[\sigma]_{сыт} = 250\ МПа$ — сытылуга рөхсәт ителгән көчәнеш.



5.1 мәсьәләгә



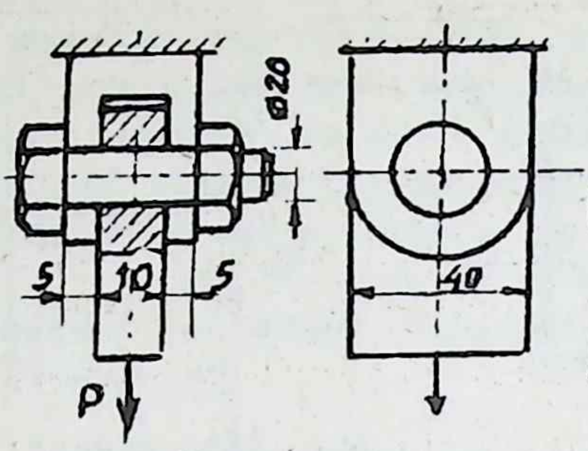
5.2 мәсьәләгә

5.2. Бөгелүне исәпкә алмыйча, шушындый чүкеп ябыштырылган урынның чыдамлыгын исәпләп, аның күтәрерлек йөген табыгыз, рөхсәт ителгән көчәнешләр: $[\sigma] = 120\ МПа$, $[\sigma]_{сыт} = 200\ МПа$, $[\tau] = 70\ МПа$; зурлыклар: $b = 100\ мм$, $d = 10\ мм$, $\delta = 6\ мм$.

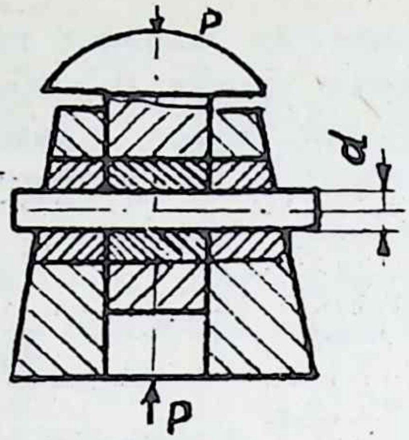
5.3. Чыдамлык шартыннан чыгып, бу конструкция күтәрә ала торган йөкне билгеләгез, барлык элементлар корычтан ясалган: $[\sigma] = 160\ МПа$, $[\sigma]_{сыт} = 250\ МПа$, $[\tau] = 80\ МПа$.

5.4. Рәсемдә кисү сынавы үткәрер өчен җайланма күрсәтелгән. Аны, үрнәк белән бергә җыйганнан соң, пресс өстәленә куеп кысалар. Үрнәкнең диаметры $d = 20\ мм$. Пресснең максималь көче 500 кН. Бу пресс һәм җайланманы кулланып, нинди чыдамлыклы материалны сынап була? Ки-

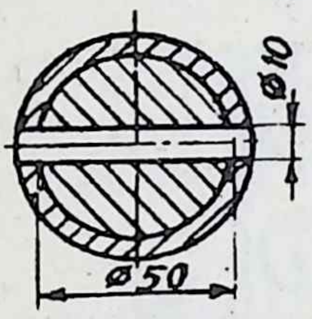
селүгә чыдамлык чиге гадәти чыдамлык чигенең яртысын тәшкил итә дип санагыз.



5.3 мәсьәләгә



5.4 мәсьәләгә



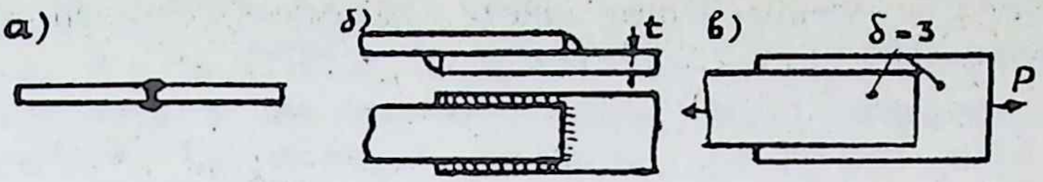
5.5 мәсьәләгә

5.5. Валга торба кидереп һәм аны беркетеп, торбаның очына бөтерү моменты (*M*) куйганнан соң, валны бөтерергә тырышалар. Вал белән торбаны тоташтырган стерженьдәге орынма көчәнешне 80 *МПа* дан арттырмыйча, нинди зурлыктагы момент куеп була?

5.6. Эретеп ябыштырганда, төрле җөйләр кулланыла. Аларның үрнәкләре рәсемдә күрсәтелгән:

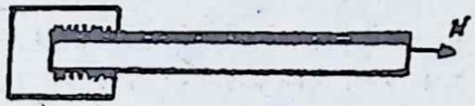
а) ялгау җөе, ул иң нык җөй, автомат рәвештә эретеп ябыштыру очрагында бу урынның чыдамлыгы төп материалныкыннан ким булмый, аны аерым исәпләп торасы да юк;

б) табакларны бер-берсенә куеп тоташтыру, бу очракта 1 — кырый җөйләр, 2 — терәлү җөе; *в* рәсемендә күрсәтелгән тоташтыру очрагында чыдамлык шартыннан кырый җөйнең озынлыгын табыгыз, әгәр $[\sigma] = 160$ *МПа* булса, җөйнең калынлыгы (катеты) табакның калынлыгына тигез була; $[\tau] = \frac{[\sigma]}{2}$.

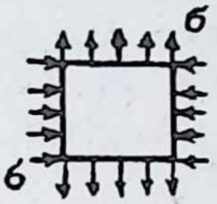


5.6 мәсьәләгә

5.7. Тигезьяклы 6,3(6) почмактан ясалган стержень корпус пластинасына эретеп ябыштырылган, стерженьдәге нормаль көч N. Материалның рөхсәт ителгән нормаль көчәнеше $[\sigma] = 160\ МПа$, ә җөйдәге $[\tau] = \dfrac{[\sigma]}{2}$; бу җөйнең озынлыгын аның таяк белән тигез чыдамлы булуыннан табыгыз.



5.7 мәсьәләгә



5.11 мәсьәләгә

5.8. Алдагы мәсьәләдә стерженьнең сул очын да эретеп ябыштырсак (терәлү җөе — ул да кырый җөй кебек үк исәпләнә), күрсәтелгән җөй озынлыгы l ничек үзгәрә?

5.9. Сузылу-кысылуга эшләячәк почмак профильле таякны пластинага ике кырый җөй белән эретеп ябыштырганда, ул җөйләрнең кайсы озынрак булырга тиеш? Берәр мисал алып, тигез чыдамлык шартыннан исәпләгез.

5.10. 40 *кН* көч белән сузыла торган тигез почмаклы профильле стержень пластинага беркетелергә тиеш. Шул тоташтыруның ике вариантын исәпләп карагыз: 1) ике заклепка белән чүкеп ябыштыру; 2) эретеп (ике кырый җөй белән) ябыштыру. Ике варианттагы тоташтыру урынының һәм таякның массасын чагыштырыгыз (таякның озынлыгы 2 *м* булсын).

5.11. Үрнәктә рәсемдә күрсәтелгән көчәнешле халәт барлыкка китерелә, аның вертикаль юнәлешендәге буйлы деформа-

циясе ε үлчәнә. Шушы сынау нәтиҗәләреннән шуышу модулен таба торган формуланы чыгарыгыз.

5.12. Вал очларында капма-каршы юнәлгән моментларның зурлыгы 1 *кНм.* Рөхсәт ителгән орынма көчәнеш $[\tau] = 60\ МПа$, рөхсәт ителгән бөтерелү почмагы $[\varphi] = 0{,}3^{\circ}$, валның озынлыгы 500 *мм*, материалы — корыч; валның диаметрын табыгыз.

5.13. Түгәрәк аркылы кисемле ($d = 10\ мм$) үрнәкне ике тапкы сынаганнар. Беренче сынау вакытында, 1500 *Н* көче белән сузганда, аның үлчәнгән озынаюы $1{,}9 \cdot 10^{-3}$ *мм* булган (тензометрның нигезе 20 *мм);* икенче сынау вакытында 4 *Нм* зурлыктагы бөтерү моменты белән йөкләгәч, аның үлчәнгән бөтерелү почмагы $1{,}8^{0}$ (нигезе 200 *мм*) булган. Материалның эластиклык константаларын (өчесен дә) билгеләгез.

5.14. Валның өслегенә күчәреннән 45^{0} ка авышкан юнәлештә ябыштырып куелган тензорезистор, машина эшләп торган чакта ($n = 100$ *әйл/мин* тизлеге белән), $\varepsilon = 0{,}0005$ чагыштырма деформация күрсәткән. Валның диаметры 50 *мм.* Ул нинди егәрлек тапшыра?

5.15. Вал, $n = 120$ *әйл/мин* тизлеге белән әйләнеп, 5 *кВ*т егәрлек тапшыра. Рөхсәт ителгән орынма көчәнеш $[\tau] = 60\ МПа$, материалы — корыч, рөхсәт ителгән бөтерү почмагы $[\varphi_0] = 0{,}5^{\circ}/м$. Валның диаметрын табыгыз.

5.16. Озынлыгы 1 метр булган 50 *мм* диаметрлы корыч вал 1 градуска бөтерелгән. Аның аркылы кисемендәге максималь орынма көчәнешне табыгыз.

5.17. 70 *мм* диаметрлы вал 50 *а.к.* егәрлекне тапшыра, рөхсәт ителгән орынма көчәнеш 50 *МПа.* Бу вал нинди тизлек белән әйләнеп тора ала (n)?

5.18. Корыч вал, $n = 150$ *әйл/мин* тизлектә әйләнеп, 45 *а.к.* егәрлек тапшыра, $[\tau] = 50\ МПа$, $l = 0{,}5\ м$, $[\varphi] = 0{,}3^{\circ}$. Валның диаметрын табыгыз.

5.19. Ике вал бердәй момент тапшыра, беренчесе корычтан ($[\tau] = 80\ МПа$, $\rho = 7{,}85\ г/см^3$), икенчесе — дюралюминийдән ($[\tau] = 50\ МПа$, $\rho = 2{,}7\ г/см^3$) ясалган. Шул ике валның массаларын чагыштырыгыз.

5.20. Валның аркылы киселе — бик нечкә боҗра ($\delta = d/50$). Аркылы кисемнең поляр инерция моменты һәм поляр каршылык моментын исәпләү өчен, формулалар чыгарыгыз (аңлатмаларга D һәм δ гына керергә тиеш).

5.21. Валларны җиңеләйтер өчен, аларны еш кына көпшә формасында ясыйлар. Әлбәттә, бу чара валның диаметры шактый зур булганда гына үзен аклый. Бер бик зур турбогенератор валын ике төрле итеп — берсен тоташ итеп, икенчесен көпшә формасында ($c = d/D = 0{,}7$) — проектлаштырыгыз; $N = 1$ *млн кВт*, $n = 100$ *әйл/мин*, валның озынлыгы 10 *м*, рөхсәт ителгән орынма көчәнеш 100 *МПа*, корычның тыгызлыгы $7850^{кг}/_{м^3}$. Валны торбадан ясап, күпме металл экономияләп була?

5.22. Корыч валның (1.16 нчы мәсьәлә) куркынычлы аркылы киселен табып, чыдамлык шартыннан чыгып, диаметрын билгеләгез, $[\tau] = 80$ *МПа*, эпюрын төзеп, вал буйлап бөтерелү почмагы үзгәрүен билгеләгез; шкивларның аралары 20 шәр сантиметр.

5.23. Алдагы мәсьәләдә китерелгән валның диаметрларын аерым-аерым, бүлемтектәге бөтерү моментына туры китереп билгеләгез. Бу валның массасын даими кисемленеке белән чагыштырыгыз, φ һәм τ эпюрларын төзегез.

5.24. Юка торбадан ясалган вал ике очында капма-каршы юнәлгән $M = 1000$ *Нм* моментлары белән йөкләнгән. Торбаның калынлыгы $\delta = 1$ *мм*; $[\tau] = 80$ *МПа* булгандагы диаметрын табыгыз.

5.25. Корыч валның диаметры 60 *мм*, озынлыгы 500 *мм*, аның аркылы кисемендәге максималь орынма көчәнеш 60 *МПа* тәшкил итә. Бөтерү почмагын билгеләгез.

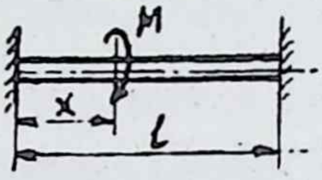
5.26. Көпшә формасындагы корыч валның озынлыгы 0,5 *м*, эчке һәм тышкы диаметрларының чагыштырмасы $c = 0{,}7$, рөхсәт ителгән көчәнеш $[\tau] = 60$ *МПа*, бөтерелү почмагы $[\varphi] = 0{,}25^{\circ}$. Аркылы кисемнең зурлыкларын билгеләгез; бу вал нинди момент тапшыра?

5.27. Юка стеналы торба формасындагы кардан валы 50 *кВт* егәрлек тапшыра. Ул ике режимда эшли: беренчесендә аның әйләнүенең тизлеге 50 *әйл/мин*, икенчесендә 2200 әйл/мин.

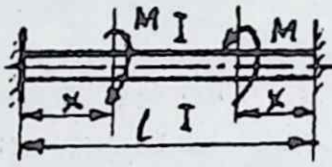
Валның $c = d/D = 0{,}9$, материалы корыч, $[\tau] = 60$ *МПа*. Режимнарның кайсысы куркынычлырак? Валның диаметрларын табыгыз.

5.28. Тешле тәгәрмәч валга чөй (шпонка) ярдәмендә беркетелгән, ул 120 *әйл/мин* тизлеге белән әйләнә һәм 20 *кВт* егәрлек тапшыра. Валның материалы өчен рөхсәт ителгән орынма көчәнеш $[\tau] = 50$*МПа*, сытылу көчәнеше $[\sigma]_{сыт} = 150$ *МПа*, шпонка материалыныкы $[\tau] = 80$ *МПа* булсын. Шпонканың аркылы кисеме квадрат, аның биеклеген вал белән тәгәрмәч урталай бүлә. Шпонканың иңен $d/4$ итеп алып, аның озынлыгын табыгыз (d — валның диаметры).

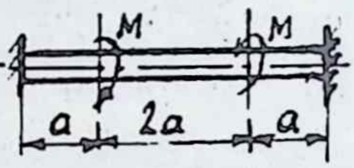
5.29. Рәсемдә күрсәтелгән борысның ике очы да каты кысылган. Бөтерү моменты эпюрын төзегез. $M_{кmax}$ның x белән бәйлелеген табып, аның да эпюрын төзегез.



5.29 мәсьәләгә



5.30 мәсьәләгә



5.31 мәсьәләгә

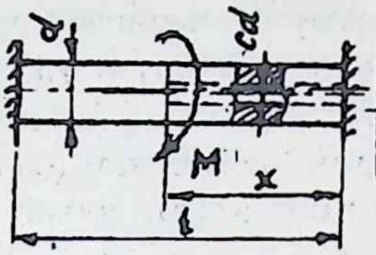
5.30. Борысны ике бертигез момент йөкли. Максималь бөтерү моменты x зурлыгына бәйлеме? Ә I-I дип билгеләгән кисемнең бөтерелү почмагы? Шуларны бөтерү моменты һәм бөтерелү почмагы эпюрларын төзеп тикшерегез.

5.31. Шушы борыс өчен бөтерү моменты һәм бөтерелү почмагы эпюрларын төзегез. Бирелгән зурлыклар:
$M = 1$ *кНм*, $a = 0{,}5$ *м*, $G = 8 \cdot 10^4$ *МПа*, $[\tau] = 80$ *МПа*.
Башта чыдамлык шартыннан диаметрын табыгыз.

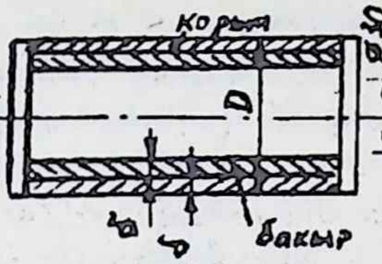
5.32. Борысның ике ягы да тигез чыдамлыклы булсын өчен, x зурлыгы борыс буеның нинди өлешен тәшкил итәргә тиеш?

5.33. Вал ике көпшәдән ясалган, көпшәләр очларында тоташкан һәм M зурлыктагы моментлар белән йөкләнгән. Валның тышкы диаметры 10 *см*, көпшәләрнең калынлыгы $\delta = 5$*мм*. Моментның бакыр һәм корыч көпшәләренә төшкән өлешләрен табыгыз. Материалларның рөхсәт ителгән көчәнешләре

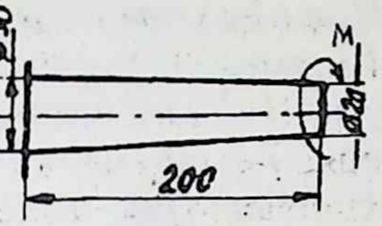
$[\tau]_{корыч} = 80\ МПа$, $[\tau]_{бакыр} = 30\ МПа$; моментның зурлыгын табыгыз. Әгәр көпшәләрнең материалларын алмаштырсак, бу вал нинди моментка каршы тора алыр икән? Бакырның шуышу модуле $4 \cdot 10^4\ МПа$.



5.32 мәсьәләгә



5.33 мәсьәләгә



5.34 мәсьәләгә

5.34. Конус сыман борыс $M = 250\ Нм$ моменты белән йөкләнгән. Материалы корыч. Шул борыс очының бөтерелү почмагын билгеләгез.

5.35. Җиңел автомобильнең сиртмә пружинасы $d = 15\ мм$ диаметрлы тимерчыбыктан ясалган, пружинаның уртача диаметры 120 *мм*, борма саны $n = 8$. Автомобильнең массасы 1 тонна булса, пружиналар ничә миллиметрга утыра? Машинага 80 шәр килограммлы биш кеше кереп урнашса, пружиналарның утыруы күпмегә арта? Пружинадагы максималь орынма көчәнешне дә билгеләгез.

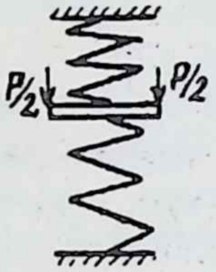
5.36. Винт сыман пружина 10 *кг* массалы йөк астында тора. Аның уртача диаметры 25 *мм*, рөхсәт ителгән орынма көчәнеш $[\tau] = 100\ МПа$. Чыдамлык шартыннан тимер чыбыкның диаметрын табыгыз. Бормалар саны 10 булса, пружинаның утыруы күпме булыр?

5.37. Пружинаның катылыгы дип $c = P/\lambda$ чагыштырмасын атыйлар, биредә P — пружинага куелган көч, λ —пружинаның шул көч тәэсире нәтиҗәсендә барлыка килгән утыруы. Димәк, пружинаның катылыгы — ул аның озынлык берәмлегенә тигез булган озынаюы яки кыскаруына туры килгән көч зурлыгы. Шундый бирелгән катылыклы пружинаны проектлаштырып карагыз: $c = 1000\ Н/мм$, $[\tau] = 150\ МПа$, $\lambda = 5\ мм$, $D = 100\ мм$.

5.38. Винт сыман пружинаның зурлыклары $D = 50$ *мм*, $d = 5$ *мм*, аның 100 *кН* лык көчтән 10 *мм* га озынаюы өчен ничә бормасы булырга тиеш? Орынма көчәнешне дә табыгыз. Бу пружина материалының чыдамлык үзлекләре нинди булырга тиеш?

5.39. Бер пружина икенчесенең эченә куелган һәм икесенә бергә P көче тәэсир итә. Беренче пружинаның $D_1 = 30$ *мм*, $d_1 = 1,5$ *мм*, адымы $h_1 = 5$ *мм*, икенчесенең $D_2 = 50$ *мм*, $d_2 = 2,5$ *мм*, $h_2 = 7$ *мм*, пружиналарның озынлыгы 70 *мм*. $P = 10$ *Н* булса, бу пружиналар күпмегә утыра? Көч пружиналар арасында ничек бүленә?

5.40. 5.39 нчы мәсьәләдәге пружиналарны берсе өстенә берсен куеп (берәр яссы кисәк аша), шул ук көч белән йөкләгәннәр. Бу очракта пружиналар күпмегә утыра?



5.41 мәсьәләгә

5.41. 5.39 нчы мәсьәләдәге пружиналарга, рәсемдә күрсәтелгәнчә ялгап һәм беркетеп, шул ук P көчен куйганнар. Чишү нәтиҗәләре элеккеләреннән аерыламы? Сәбәбе нәрсәдә?

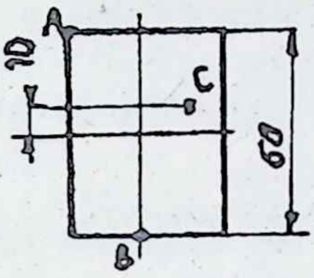
5.42. Чыдамлык һәм катылык шартларыннан валның диаметры бериш булсын өчен, рөхсәт ителгән көчәнеш һәм бөтерелү почмагы арасындагы бәйлелек нинди булырга тиеш?

5.43. Бик юка торбадагы бөтерүдән килеп чыккан көчәнешне поляр инерция моменты төшенчәсен кулланмыйча гына табыгыз. Торбаның аркылы кисемендәге көчәнешне даими дип санагыз.

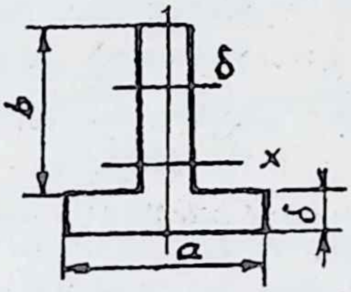
5.44. Квадрат аркылы кисемле вал түгәрәк кисемлесеннән ничә тапкырга авыррак була? Квадрат өчен бөтерүгә каршы тору моменты аңлатмасындагы $(W_к = \alpha b^3)$ α коэффициенты зурлыгын 0,208 дип алыгыз.

6. Яссы бөгү

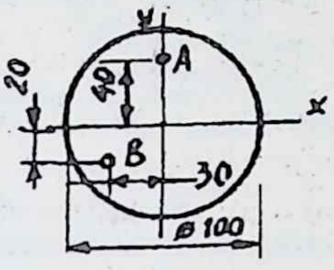
6.1. Яссы бөгелә торган балканың аркылы кисеме — турыпочмаклык. Аның *C* ноктасында 50 *МПа* нормаль көчәнеш тәэсир итә, *A* һәм *B* нокталарындагы нормаль көчәнешләрне табыгыз. Нормаль көчәнешнең кисем өслегендә таралу эпюрын төзеп күрсәтегез.



6.1 мәсьәләгә



6.2 мәсьәләгә

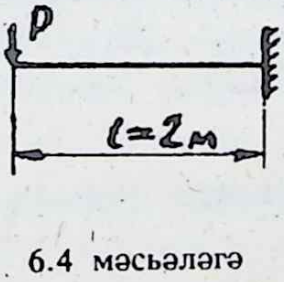


6.3 мәсьәләгә

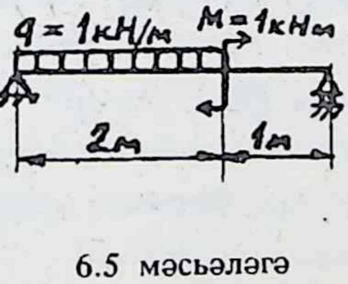
6.2. Балканың аркылы кисеме — тамга (тавр) формасында. Материалның чыдамлык үзлекләре кысу һәм сузуга карата төрле: $\sigma_в^к/\sigma_в^с = 3$; a, b, δ ларның рациональ чагыштырмаларын табыгыз.

6.3. Балканың аркылы кисемендәге ике ноктада нормаль көчәнеш зурлыклары билгеле: $\sigma_A = 25\ МПа$, $\sigma_B = -30\ МПа$. Бу кисемдәге максималь нормаль көчәнешне табыгыз. Күрсәтмә: башта кисемнең нейтраль күчәрен табарга кирәк.

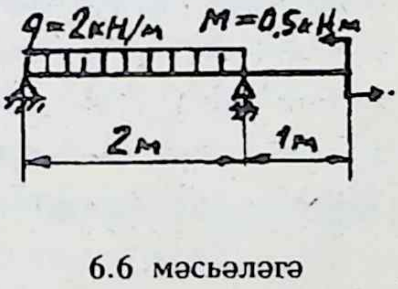
6.4. Балканың аркылы кисеме — тамга формасында, аның чагыштырма зурлыклары 6.2 нче мәсьәләдә китерелгәнгә туры килә. Материалның рөхсәт ителгән көчәнеше $[\sigma]_к = 210\ МПа$, ә $\delta = 2\ см$ булса, бу балка нинди йөк күтәрә ала?



6.4 мәсьәләгә



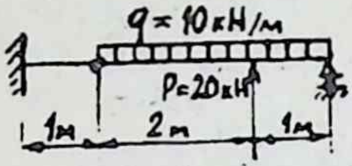
6.5 мәсьәләгә



6.6 мәсьәләгә

6.5. Нормаль көчәнеш буенча чыдамлык шартын үтәп, бу балканың аркылы кисеме зурлыкларын табыгыз. Кисемнең формасы — квадрат, материалы — агач, аның өчен $[\sigma] = 10\ МПа$.

6.6. Чыдамлык шартыннан чыгып, түгәрәк кисемле балканың зурлыкларын табыгыз, материалы — бетон, $[\sigma] = 8\ МПа$.



6.7 мәсьәләгә

6.7. Балканың материалы — Ст.3 маркалы корыч, $[\sigma] = 160\ МПа$. Аның аркылы кисемен ике вариантта табып, балканың массасын чагыштырыгыз. Беренче вариант — балканың кисеме түгәрәк, икенче вариант — икетамга.

6.8. Квадрат формасындагы аркылы кисемле балканы 45° ка борып куйсак, аның йөк күтәрү сәләте ничек үзгәрә? Артамы я кимиме, ничә процентка?

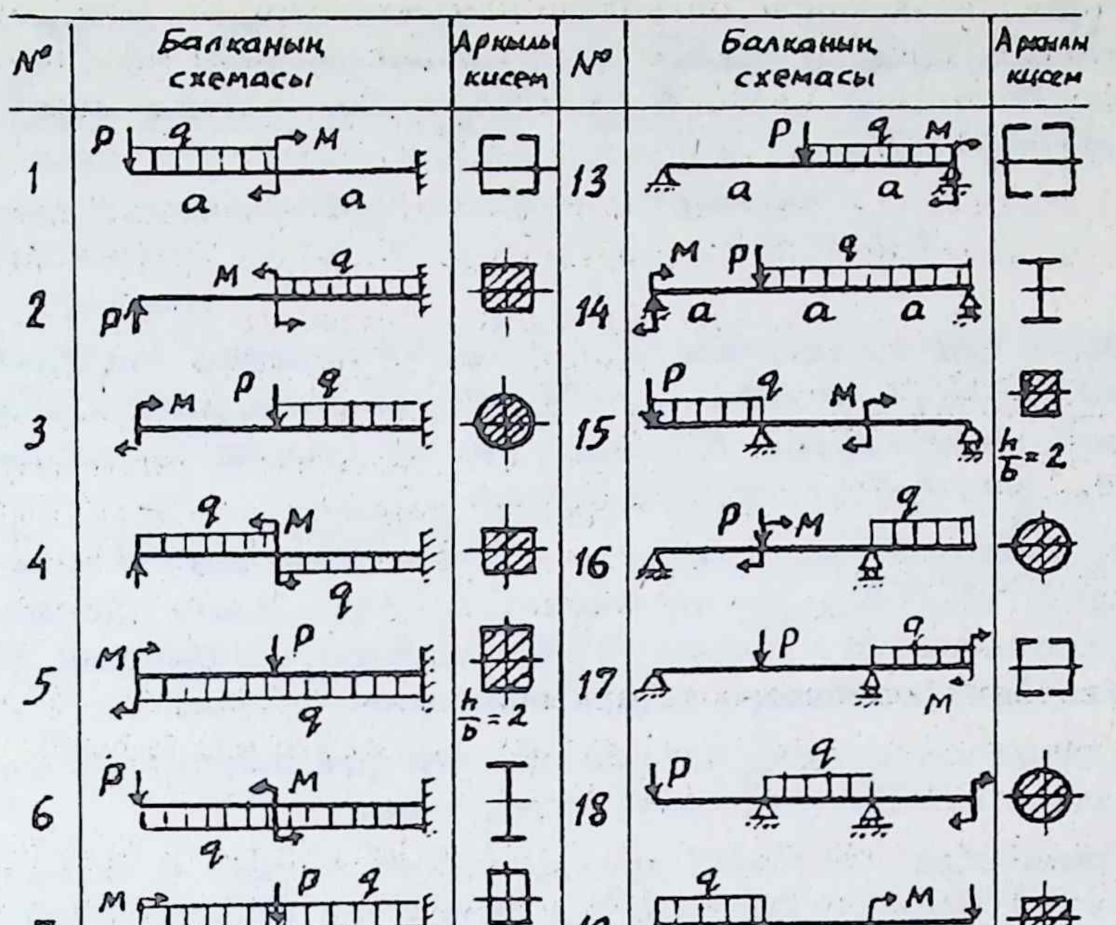
6.9. Кисеме турыпочмаклык $(h/b = 2)$ формасында булган балканы 90° ка борып куйсак, аның йөк күтәрү сәләте ничек үзгәрә?

6.10. Түбәндә күрсәтелгән балкаларның аркылы кисем зурлыкларын исәпләп табыгыз. Прокат корыч өчен $[\sigma] = 160\ МПа$, түгәрәк яки турыпочмаклык (квадрат) аркылы кисемле балкалар агачтан ясалган, аның өчен $[\sigma] = 10\ МПа$; $a = 1{,}2\ м$, $M = 12\ кНм$, $P = 8\ кН$, $q = 10\ кН/м$.

6.11 Балканың материалы — Ст.3 маркалы корыч, аның агучанлык чиге $\sigma_т = 240\ МПа$. Чыдамлык запасы коэффициентын $n = 2$ дип алып, икетамганың номерын табыгыз. Рөхсәт ителгән орынма көчәнешне табу өчен, IV чыдамлык теориясен кулланыгыз. Бирелгән зурлыклар: $P = 80\ кН$, $q = 20\ кН/м$, $a = 0{,}25\ м$, $l = 2\ м$.

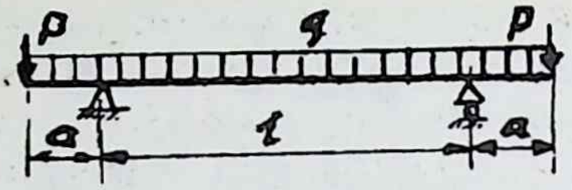
6.12. Балка материалының $[\sigma] = 160\ МПа$, $[\tau] = 90\ МПа$, йөк һәм геометрик зурлыклары: $P=40\ кН$, $a=0{,}5\ м$. Балканың аркылы кисеме ике бастырып куелган һәм эретеп ябыштырылган швеллердан тора. Шул швеллерларның номерын табыгыз.

6.13. Тигезьянлы өчпочмаклык формасындагы кисемле балканың аркылы кисемендәге τ_{zy} орынма көчәнешнең таралу зако-

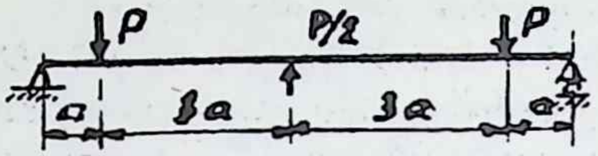


6.10 мәсьәләгә

нын табыгыз. Максималь орынма көчәнеш нинди зурлыкта һәм кисемнең кайсы урынында барлыкка килә?



6.11 мәсьәләгә



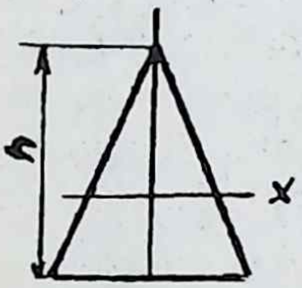
6.12 мәсьәләгә

6.14. Балканың аркылы киселе — 20 нче номерлы икетамга. Аркылы көч зурлыгы $Q = 20\ кH$. Икетамганың стенасында һәм киштәләрендә барлыкка килгән орынма көчәнешләрнең (τ_{zy} һәм τ_{zx}) эпюрларын төзегез.

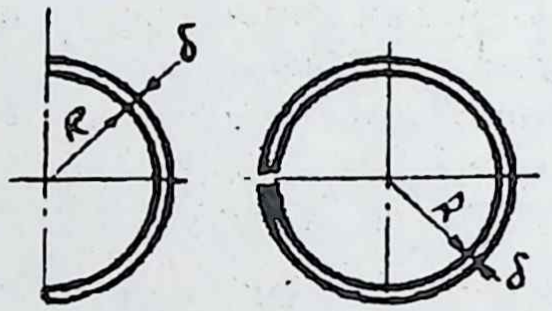
6.15. Балканың аркылы кисеме — 20 нче номерлы бастырып куелган швеллер, аркылы көч $Q = 20\ кH$. Аның стенасы һәм киштәләрендәге орынма көчәнешләрнең эпюрларын төзегез һәм балканы бөтерә торган моментны табыгыз.

6.16. Алдагы мәсьәләнең нәтиҗәләреннән файдаланып, 20 нче номерлы швеллерның бөгү үзәген табыгыз.

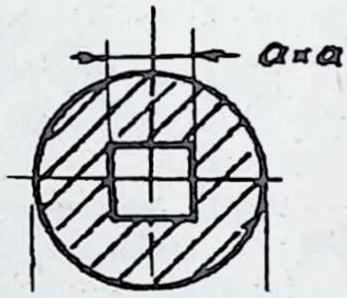
6.17. Ярымбоҗра һәм буйга ярыклы боҗра кисемле балканың бөгү үзәген табыгыз. Боҗраны бик нечкә дип санарга: $\delta < < R$.



6.13 мәсьәләгә



6.17 мәсьәләгә



6.19 мәсьәләгә

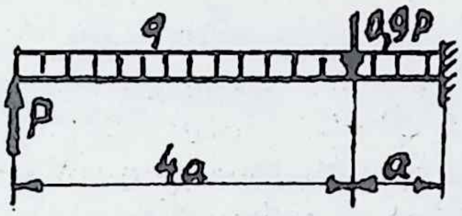
6.18. Рәсемдә күрсәтелгән кисемнең инерция һәм каршылык моментлары координат күчәрләренең борылуына бәйсез, димәк, максималь нормаль көчәнешләр, балка ничек куелса да, даими булып калалар. Шулай да балканың торышы кайсы очракта дөресрәк: рәсемдә күрсәтелгән очрактамы, әллә 45° ка борылып куелгандамы?

6.19. Бирелгән зурлыклар: $P = 100$ *кН*, $q = 1$ *кН/м*, $a = 1$ *м*, $[\sigma] = 160$ *МПа*, $[\tau] = 100$ *МПа*, балканың аркылы киселеме — икетамга. Нормаль көчәнештән чыгып, чыдамлык шартын тәэмин итә торган икетамга номерын табыгыз, аннары балканың чыдамлыгын тулысынча тикшерегез:

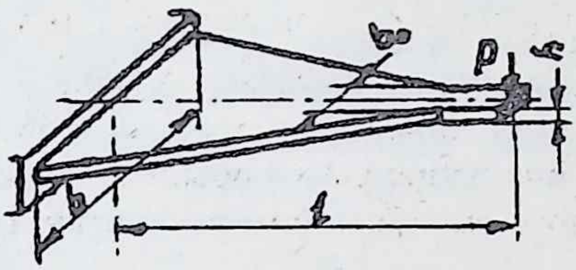
1) нормаль,

2) орынма,

3) эквивалентлы (әйтик, IV теориядәге) көчәнешләрдән чыгып (кирәк дип тапсагыз, аркылы кисемне үзгәртегез).



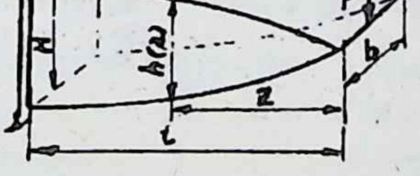
6.19 мәсьәләгә



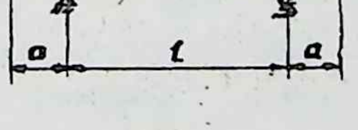
6.20 мәсьәләгә

6.20. Планда (өстән караганда) тигезьянлы өчпочмаклык булып күренгән, бер очы кысылган балканы без тигез каршылыклы балка дидек. Ләкин аның ирекле очы андый була алмый, аркылы көчкә каршы торыр өчен балканың очында, аз булса да, иңе булырга тиеш (b_0). Материалның рөхсәт ителгән көчәнешләре $[\sigma]$ һәм $[\tau]$, ә балканың калган зурлыклары b, l, h булса, b_0 нинди зурлыкта булырга тиеш?

6.21. Сез калынлыгы даими, ә иңе үзгәрүчән тигез каршылыклы балканы беләсез инде. Ә хәзер, киресенчә, иңе даими, ә калынлыгы (биеклеге) үзгәрүчән балканы табып карагыз. Моның өчен $h = h(z)$ тигезләмәсен табыгыз һәм беркетелгән урындагы биеклекне исәпләп чыгарыгыз.



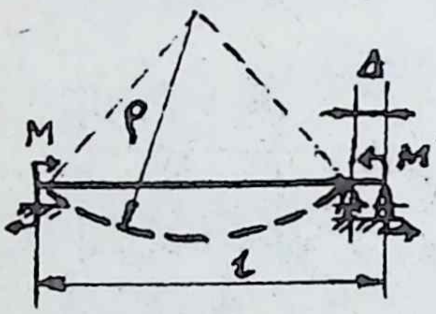
6.21 мәсьәләгә



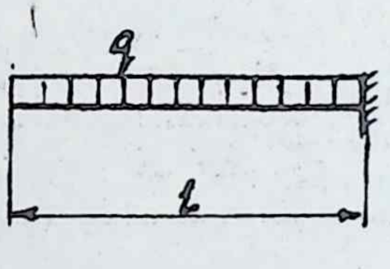
6.22 мәсьәләгә

6.22. Балканың A һәм B дип билгеләгән аркылы кисемнәрендә (турыпочмаклык) материалның көчәнеш халәтен тикшерегез. Аның өчен һәрбер кисемдә өске, аскы, уртадагы һәм өскесе (аскы) белән уртадагысы арасындагы нокталарны алыгыз һәм, шулардагы нормаль, орынма көчәнешләрне билгеләп, төп көчәнешләрне һәм аларның юнәлешләрен табыгыз.

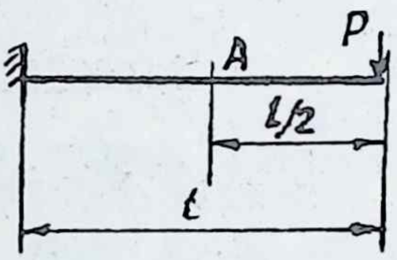
6.23. Мәгълүм булганча, бөгелгән балка күчәренең кәкрелеге $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$ формуласы белән бирелә. Рәсемдә күрсәтелгән балканың уртадагы бөгелешен һәм берәр очындагы борылу почмагын интегралламыйча гына (башта кәкрелек радиусын табып) исәпләп чыгарыгыз.



6.23 мәсьәләгә



6.24 мәсьәләгә



6.25 мәсьәләгә

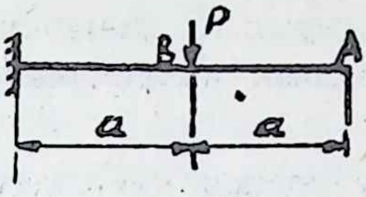
6.24. Балканың ирекле очында һәм уртасындагы бөгелешен табыгыз: $l = 1$ *м*, $q = 1000$ *Н/м*, $E = 2 \cdot 10^5$ *МПа*, $I = 20$ *см*^{4}.

6.25. Балканың озынлыгы 1 *м*, $EI = 200$ *кНм*^{2}, аның A ноктасындагы бөгелеш зурлыгы 1 *мм* булсын өчен, нинди зурлыктагы P көче куярга кирәк?

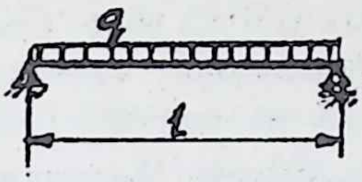
6.26. Бирелгән зурлыклар: $P = 100$ *кН*, $a = 1$ *м*, балканың аркылы кисеме — квадрат 2х2 *см*, материалы — корыч. A ноктасындагы бөгелешне билгеләгез, аны билгеләгәндә, AB бүлемтегендә интегралламагыз, B ноктадагы бөгелеш һәм борылу почмагы зурлыкларыннан файдаланыгыз.

6.27. Рәсемдә күрсәтелгән балканың максималь бөгелеше формуласын табыгыз, балканың катылыгы EI — даими зурлык.

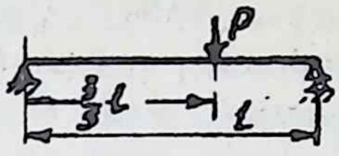
6.28. Балканың максималь бөгелешен һәм ул максимумның урынын табыгыз. Шуннан соң уртадагы бөгелешне табып, аны максималь бөгелеш белән чагыштырып карагыз.



6.26 мәсьәләгә



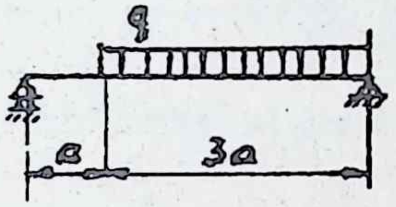
6.27 мәсьәләгә



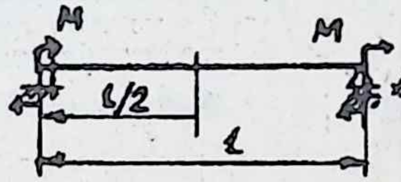
6.28 мәсьәләгә

6.29. Балканың максималь бөгелешен табыгыз. Аны уртадагы бөгелеш белән чагыштырыгыз.

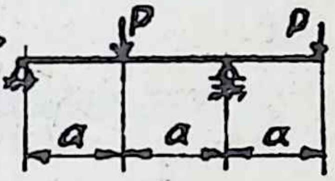
6.30. Балканың максималь бөгелешен табыгыз, шулай ук уртасындагы бөгелешне дә билгеләгез.



6.29 мәсьәләгә



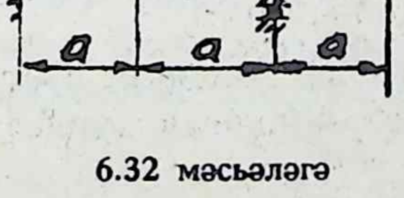
6.30 мәсьәләгә



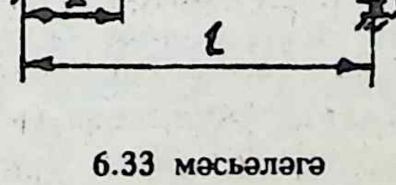
6.31 мәсьәләгә

6.31. Балканың квадрат формасында булган аркылы кисеменең зурлыкларын чыдамлык шартыннан табып ($[\sigma] = 10$ *МПа*, $E = 10^4$ *МПа*, материалы — агач), борылу почмагын һәм бөгелешләрен билгеләгез. Балка өчен Q, M, θ, y эпюрларын төзегез; $P = 20$ *кН*, $a = 1$ *м*.

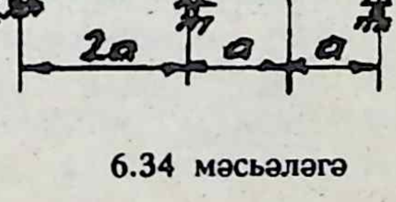
6.32. Бирелгән балка өчен Q, M, θ, y эпюрларын төзегез, балканың катылыгы EI.



6.32 мәсьәләгә



6.33 мәсьәләгә



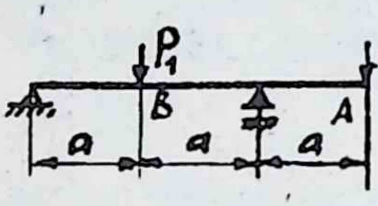
6.34 мәсьәләгә

6.33. Гадəттə шарнирлы кисемдə борылу почмагы кинəт (сикереп) үзгəрə. Лəкин ул сикереш булмаска да мөмкин. Күрсəтелгəн мисалда шундый шарттан x зурлыгын табыгыз.

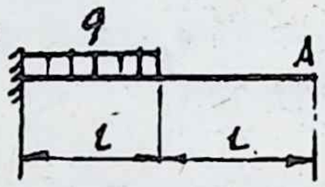
6.34. Балканың озынлыгы $l = 4a = 4$ *м*, материалы — корыч, $[\sigma] = 160$ *МПа*; йөк $q = 12$ *кН/м*. Максималь бөгелеш *5мм дан* артмаска тиеш. Чыдамлык һəм катылык шартларын канəгатьлəндергəн балка (икетамга) сайлап алыгыз.

6.35. *A* ноктасында балканың бөгелеше нульгə тигез булсын өчен, *B* ноктасында нинди көч куярга кирəк?

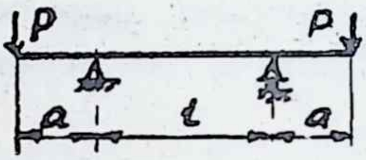
6.36. Таралган көч тəэсиреннəн балка аска таба бөгелə. *A* ноктасы урынында калсын өчен, шунда нинди көч куелган булырга тиеш?



6.35 мəсьəлəгə



6.36 мəсьəлəгə

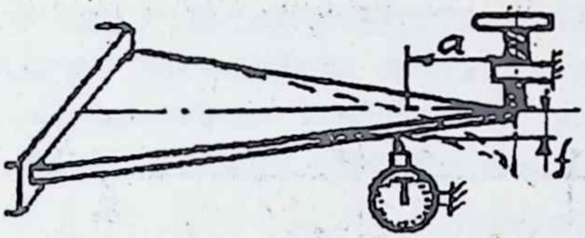


6.37 мəсьəлəгə

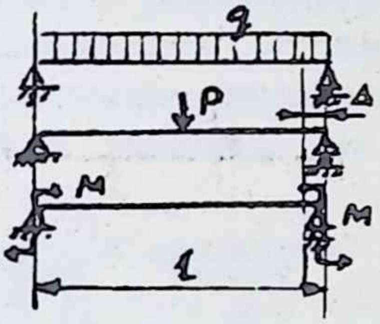
6.37. Бөгү моменты эпюрын төзеп, балканың урта өлешендə саф бөгү барлыкка килүенə инаныгыз. Мондый балка саф бөгелү балкасы дип атала. Ул тензометриядə (җисемнең өслегенə ябыштырып куелган тензорезисторлар белəн деформациялəрне электр ысуллары ярдəмендə үлчəүне шулай дип атыйлар) эталон балка булып йөри. Тикшерелə торган җисемгə ябыштырганчы, тензорезисторларның берничəсен шул эталон балкага ябыштырып, аның алдан билгеле булган деформациясен үлчилəр һəм электр коралы күрсəткечлəрен шушы деформациягə туры китерəлəр. Бу процессны резисторларның яки үлчəү коралының тарировкасы дип атыйлар. Балканың деформациясен төгəл белер өчен аның уртадагы бөгелешен табалар, бөгелешне бик уңайлы корал белəн үлчилəр — ул 0,01 я 0,001 *мм* га кадəр төгəллектəге индикаторлар. Күрсəтелгəн балканың максималь деформациясе белəн уртадагы бөгелеше арасындагы бəйлелекне табыгыз.

6.38. Тензорезисторларны тарировкалау өчен тигез каршылыклы балка да кулланыла. Аның кайсы җиренәябыштырылуына карамастан, резистор, саф бөгелү балкасындагы кебек, бердәй деформацияне үлчи. Максималь деформация белән *a* кисемендәге бөгелеш арасындагы бәйлелекне табыгыз.

6.39. Балка бөгелгәндә, аның очлары аз гына якынлаша. Ул якынлашуны гадәттә исәпкә алмыйлар. Сәбәбе — аның бик кечкенә булуында. Күрсәтелгән балканың шул Δ дип билгеләнгән күчешен табыгыз. Табылган аңлатмага балканың озынлыгы һәм максималь бөгелеше генә керергә тиеш.



6.38 мәсьәләгә

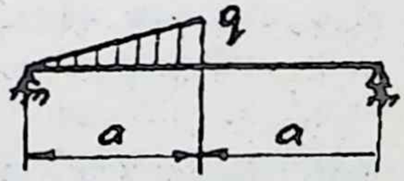


6.39, 6.40 мәсьәләләргә

6.40. Рәсемдә күрсәтелгән балкалар өчен терәк кисемнәренең якынлашуын табыгыз.

6.41. Алдагы 6.39, 6.40 нчы мәсьәләләр нәтиҗәләренә нигезләнеп, мондый сорауга җавап бирегез: балка очларының якынлашуын (1 проценттан артмаган төгәлсезлек белән) никадәр зур бөгелеш очракларында исәпкә алмаска була?

6.42. Күрсәтелгән балка өчен барлык (Q, M, θ, y) эпюрларын төзегез, бөгелү катылыгын EI даими зурлык дип санагыз.



6.42 мәсьәләгә

6.43. 55 нче номерлы икетамганы көчәйтер өчен аның буеннан-буена ике корыч табак эретеп ябыштырылган. Табакларның калынлыгы 10 *мм*, иңе 190 *мм*. Эретеп ябыштыру җөенең

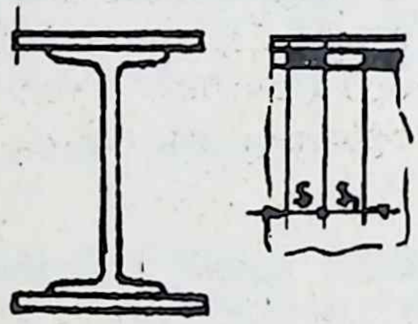
адымын исәпләп билгеләгез, җөйнең катетлары 7 *мм*, максималь орынма көчәнеш (эретеп ябыштырганчы) 120 *МПа*, димәк, рөхсәт ителгәннән зуррак.

6.44. Балка (6.23 нче мәсьәлә) очларының якынлашуын интеграллар алмыйча гына билгеләгез.

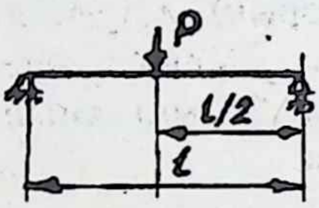
6.45. Тигез каршылыклы балканың (6.22 нче мәсьәлә) очындагы бөгелешен табыгыз.

6.46. Алдагы мәсьәләдә күзәтелгән балка өчен очындагы бөгелеш һәм теләсә нинди аркылы киселенең тышкы өслегендәге нормаль көчәнеш арасындагы бәйләнешне табыгыз.

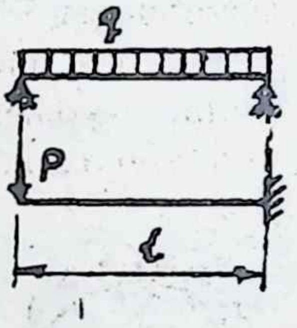
6.47. Күрсәтелгән балка өчен рөхсәт ителгән нормаль көчәнеш һәм рөхсәт ителгән бөгелеш арасындагы бәйләнешне түбәндәге шарттан табыгыз: катылык һәм чыдамлык таләпләреннән чыгып караганда, балканың аркылы киселе бердәй булсын.



6.43 мәсьәләгә



6.47 мәсьәләгә

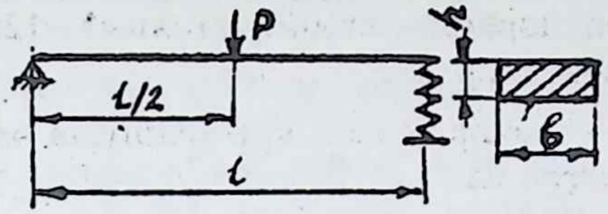


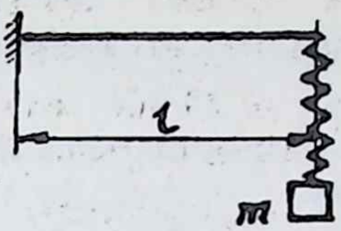
6.48 мәсьәләгә

6.48. Алда куелган мәсьәләне рәсемдә күрсәтелгән балкаларга карата чишегез.

6.49. Йөк куелган ноктаның аска таба күчешен табыгыз. Балканың материалы — корыч, аркылы киселе — турыпочмаклык, $b = 3$ *см*, $h = 1$ *см*, $l = 50$ *см*, $P = 100$ *Н*, пружинаның катылыгы $c = 400$ *Н/мм*.

6.50. Балканың очына пружина аша йөк эленеп куелган. Пружинаның эластиклыгы $\lambda = 1/c = 0{,}01$ *мм/Н*, балканың материалы — корыч, озынлыгы 0,5 *м*, аркылы киселе 2x2 *см* квадрат. Йөк 2 *мм* га төшсен өчен, аның массасы күпме булырга тиеш?

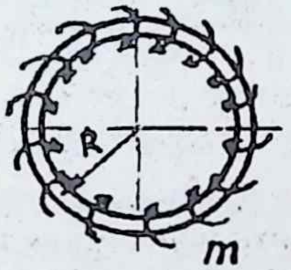


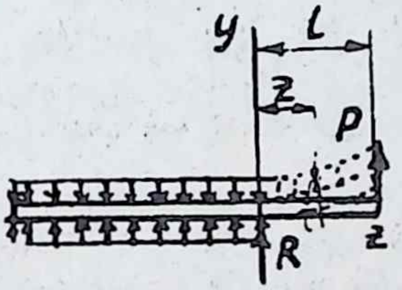


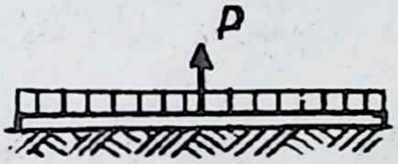
6.49 мәсьәләгә 6.50 мәсьәләгә

6.51. Квадрат формасындагы аркылы кисемле нечкә боҗра рәсемдә күрсәтелгәнчә йөкләнгән. Аның кисемендә нинди ЭКФ барлыкка килә? Материалының $[\sigma] = 160\ МПа$, $R = 20\ см$, $m = 500\ Н$ булган очракта квадратның зурлыгы нинди була, шуны табыгыз.

6.52. Газ үткәргеч торбасы (диаметры 1400 *мм*, калынлыгы 10 *мм*, материалы – корыч) җирдә ята. Аның бер очын 200 *мм* га күтәрергә кирәк. Моның өчен торба очында куелган көч нинди зурлыкта булыга тиеш? Торбаның озынлыгы чиксез зур дип санарга.







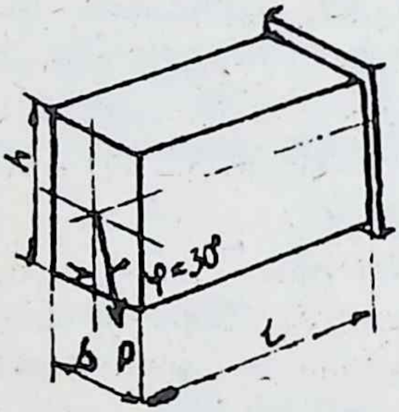
6.51 мәсьәләгә 6.52 мәсьәләгә 6.53 мәсьәләгә

6.53. Алдагы мәсьәләдә күрсәтелгән торбаның арадагы бер урынын җирдән 200 *мм* га күтәрер өчен, шул урында нинди көч куярга кирәк?

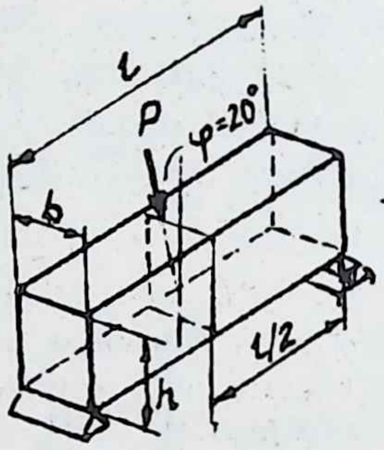
7. Катлаулы каршылык

7.1. Балкага, рәсемдә күрсәтелгәнчә, $P = 2500H$ көче куелган. Аның материалы — агач, $[\sigma] = 10$ *МПа*, озынлыгы, $l = 2$ *м*, $h/b = 1{,}6$. Чыдамлык шартыннан чыгып, аркылы кисемнең зурлыкларын тапканнан соң, балканың ирекле очының тулы күчешен (зурлыгын һәм юнәлешен) исәпләп билгеләгез.

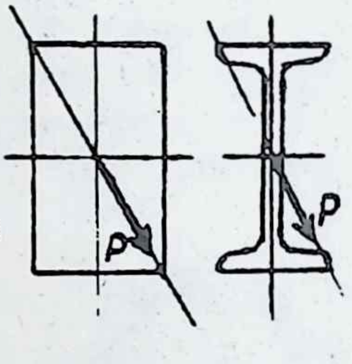
7.2. Балканың материалы — агач, $[\sigma] = 15$ *МПа*. Аңа, рәсемдә күрсәтелгәнчә, йөк куелган, $l = 1{,}5$ *м*, $h/b = 2$. Чыдамлык шартыннан чыгып, аркылы кисемнең зурлыкларын табыгыз. Куркынычлы кисемдә нейтраль сызыкны төзеп, нормаль көчәнеш эпюрын күрсәтегез; $P = 10\kappa H$.



7.1 мәсьәләгә



7.2 мәсьәләгә



7.3 мәсьәләгә

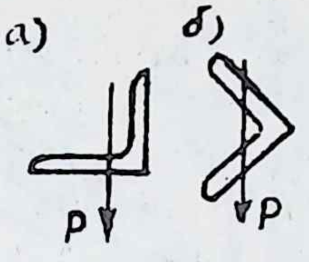
7.3. Турыпочмаклык кисемле балканың йөге кисемнең бер диагонале аша үтә. Нейтраль сызык ничек үтә икән? Ә ике-тамгада хәл шундый ук микән?

7.4. Балканың кисеме — турыпочмаклык, аның яклары b һәм h $(b < h)$. Балкага куелган йөк вертикаль яссылыкта яткан M зурлыгындагы бөгү моментын тудыра. Балканың иң ышанычлы һәм иң куркынычлы торышын (φ почмагын) табыгыз.

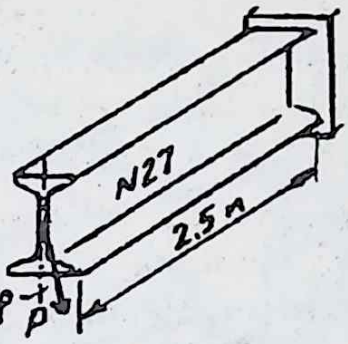
7.5. Балканың аркылы кисеме квадрат булса, анда кыек бөгү мөмкинме?

7.6. Икетамга профильле балканың иң куркынычлы торышын табыгыз (7.4 нче мәсьәләдәге кебек).

7.7. Рәсемдә күрсәтелгән очракларның кайсы кыек, кайсы туры бөгү?



7.7 мәсьәләгә



7.8 мәсьәләгә

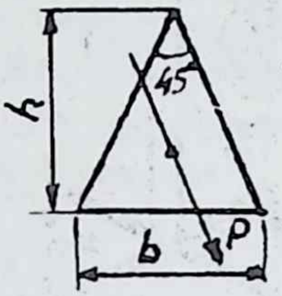
7.8. Балкага $P = 20\ кН$ көче куелган, көчнең юнәлеше вертикальдән $\varphi = 20^o$ почмагына авышкан. Рөхсәт ителгән көчәнеш $[\sigma] = 160\ МПа$, рөхсәт ителгән бөгелеш $[f] = 1\ см$ икәнен искә алып, балканың чыдамлыгын һәм катылыгын тикшерегез.

7.9. Балканың киселеше — тигезьянлы өчпочмак. Ике очракны чагыштырып, куркынычлырагын күрсәтегез. Беренче очракта йөк юнәлеше вертикаль, икенчесендә — өчпочмакның янына параллель, $h = b$.

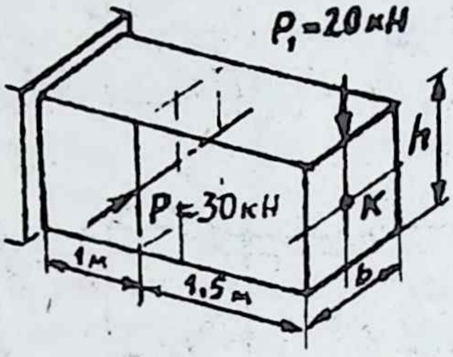
7.10. 60 нчы номерлы икетамга профильле балканы вертикаль рәвештә куярга тиеш булганнар, ул чакта аның чыдамлык запасы коэффициенты 1,5 дип билгеләнгән. Ләкин куйган чакта хата җибәрелгән һәм балканың киселеше вертикальдән $\varphi = 2^o$ ка авышкан. Максималь нормаль көчәнешнең һәм запас коэффициентының шул сәбәпле үзгәрүен табыгыз.

7.11. Балканың материалы — чуен, аның өчен $[\sigma]_к = 120\ МПа$, $[\sigma]_c = 40\ МПа$. Ул ике очында шарнирлы терәлгән һәм рәсемдә күрсәтелгәнчә йөкләнгән. Чыдамлык шартыннан киселешнең зурлыкларын — b һәм h ны табыгыз. Әгәр P көче вертикаль юнәлештә тәэсир итсә, ул зурлыклар ничек үзгәрер иде? Балканың буе 2 $м$, көч $P = 5\ кН$.

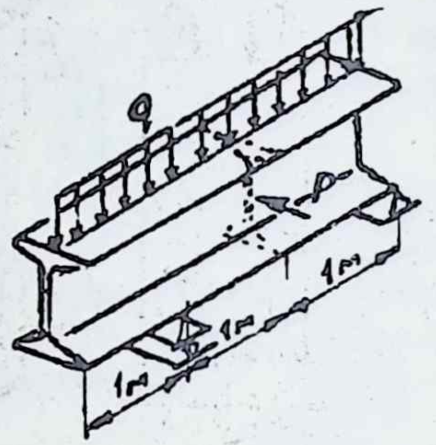
7.12. Балка бер очы белән стенага каты кысып беркетелгән, икенче очы ирекле. Аңа рәсемдә күрсәтелгәнчә йөк куелган. Балканың материалы агач, $[\sigma] = 12\,МПа$, аның $h/b = 2$ булгандагы b һәм h зурлыкларын һәм K ноктасының тулы бөгелешен табыгыз.



7.11 мәсьәләгә



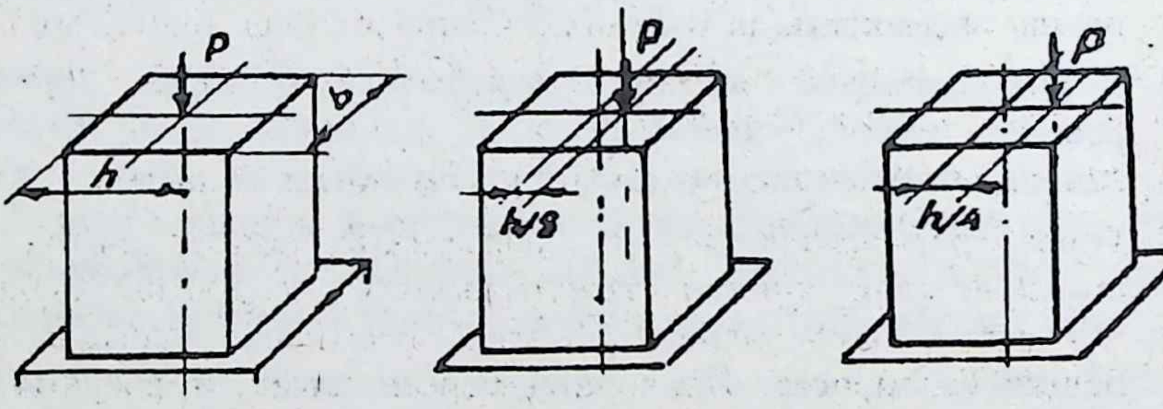
7.12 мәсьәләгә



7.13 мәсьәләгә

7.13. Балкага, рәсемдә күрсәтелгәнчә, йөк куелган: $q = 10\,кН/м$, $P = 3\,кН$. Рөхсәт ителгән нормаль көчәнеш $[\sigma] = 160\,МПа$ булса, бу икетамганың номеры ничәле булырга тиеш?

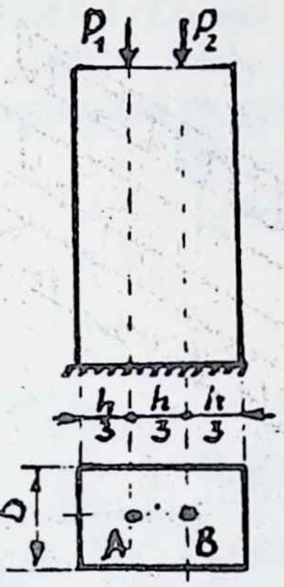
7.14. Шушы өч очрак өчен аркылы кисемнең нейтраль сызыгын күрсәтегез.



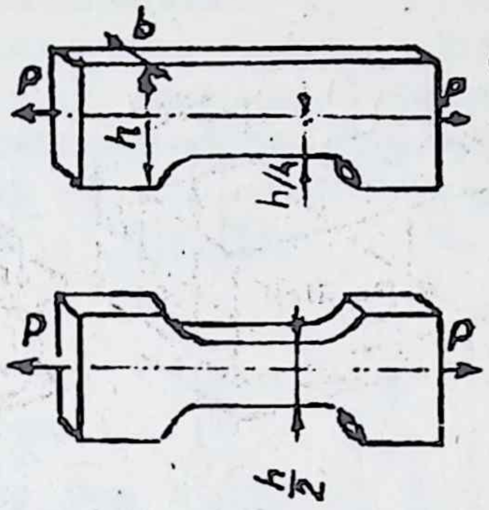
7.14 мәсьәләгә

7.15. Турыпочмаклы аркылы кисемле борыска ике бертигез $P_1 = P_2 = P$ көче куелган. Көчләрнең берсен алып ташласак, борыстагы максималь көчәнеш ничек үзгәрер?

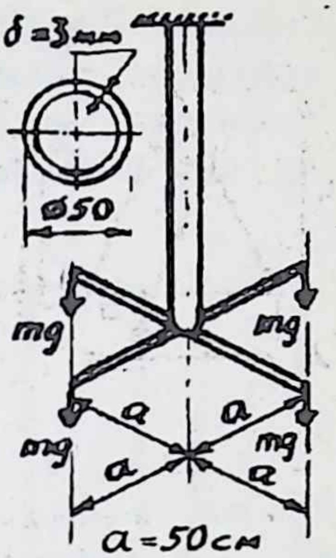
7.16. Яссы кисәкнең ($b = 2$ *мм*, $h = 16$ *мм*) бер ягында ырмавы бар; ул $P = 2000$ *Н* көче тәэсирендә сузыла. Максималь көчәнешне табыгыз. Ырмауны ике яктан да симметрик итеп ясасак, максималь көчәнеш ничек үзгәрер?



7.15 мәсьәләгә



7.16 мәсьәләгә



7.19 мәсьәләгә

7.17. Бетоннан ясалган багана (аның диаметры 60 *см*) 600 т массалы йөк күтәреп тора. Йөкнең аркылы кисем үзәгенә туры килүе һәм аннан 10 см га читтәрәк куелуы очракларындагы максималь нормаль көчәнешләрне билгеләгез. Бетонның $[\sigma]_к = 20$ *МПа*, $[\sigma]_c = 1$ *МПа*, багана чыдамлык шартын канәгатьләндерәме?

7.18. 20 нче номерлы икетамганың кисем төшен табыгыз.

7.19. Торба формасындагы *AB* борысының астагы очына дүрт аркылы таяк эретеп ябыштырылган, аларның очларына $m = 100$ *кг* йөк эленеп куелган. Торбадагы нормаль көчәнешне билгеләгез. Йөкләрнең берсен алсак, торбадагы максималь нормаль көчәнеш нинди була?

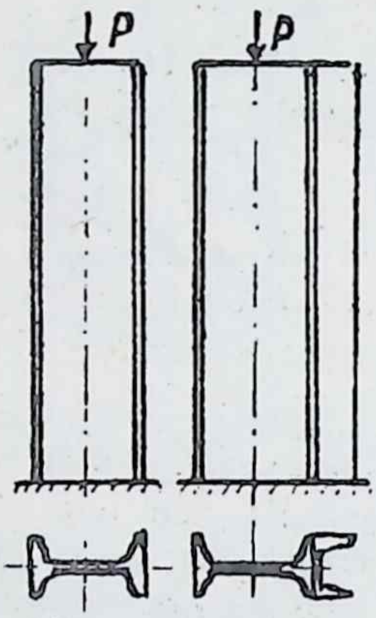
7.20. Төзек алтыпочмакның кисем төшен табыгыз.

7.21. Тигезьяклы өчпочмакның төшен билгеләгез.

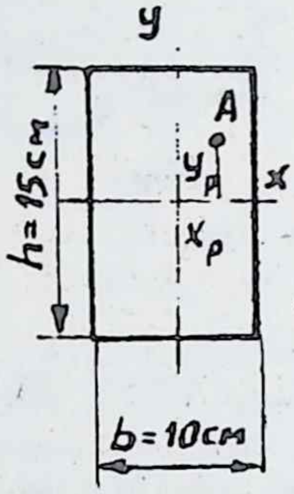
7.22. Үзәк сызыгы буйлап кысыла торган 33 нче номерлы икетамгадан ясалган баганага ($P = 850$ *кН*) «көчәйтер өчен»

буйдан-буйга 14 нче номерлы швеллер эретеп ябыштырылган. Бу «көчәйтү» нәтиҗәсен тикшерегез: *а* һәм *б* очракларындагы нормаль көчәнешләрне билгеләп чагыштырыгыз.

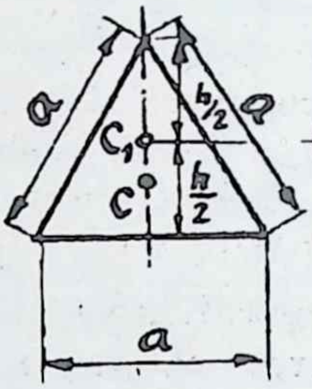
7.23. Рәсемдә күрсәтелгән турыпочмаклык формасындагы кисемле борыс $A(2, 3)$ ноктасыннан үтә торган күчәр буйлап $P = 60\ кН$ көче тәэсирендә кысыла. Кисемнең нейтраль сызыгын, максималь суза һәм кыса торган көчәнешләрне табыгыз, кисемдәге нормаль көчәнеш таралу законын күрсәтә торган эпюрны төзегез.



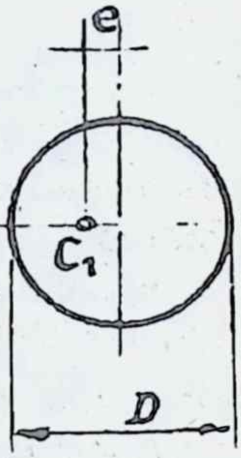
7.22 мәсьәләгә



7.23 мәсьәләгә



7.24 мәсьәләгә



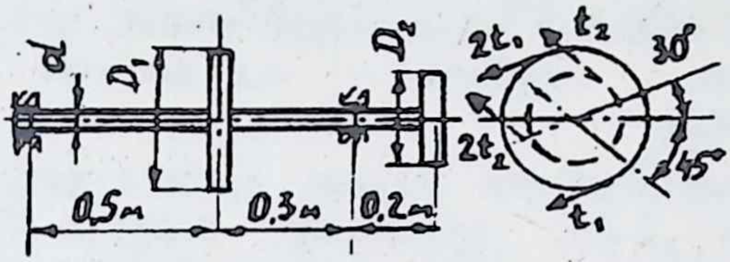
7.25 мәсьәләгә

7.24. Тигезьяклы өчпочмак рәвешендәге кисемле борыс C_1 ноктасында куелган көч тәэсирендә кысыла $P = 100\ кН$. Материалның рөхсәт ителгән көчәнеше $[\sigma]_к = 40\ МПа$. Чыдамлык шартыннан чыгып, өчпочмакның ягын табыгыз. Көч кисемнең үзәгендә куелган булса, ул борыс нинди йөк күтәрә алыр иде?

7.25. Суза торган көч C_1 ноктасында куелган. Борыстагы максималь көчәнешне табыгыз, $e = 0{,}1D$. Көч кую ноктасының үзәктән күчүенә бәйле рәвештә көчәнеш күпмегә арта?

7.26. Станокның валында ике шкив беркетелгән. Аларның диаметрлары $D_1 = 0{,}6\ м$, $d_2 = 0{,}4\ м$. Вал 10 *кВт* егәрлек тапшыра, аның тизлеге 250 әйл/мин; t_1, $2t_1$, t_2, $2t_2$ дип каешлардагы көчләр билгеләнгән. Каешны хәрәкәтләндерүче

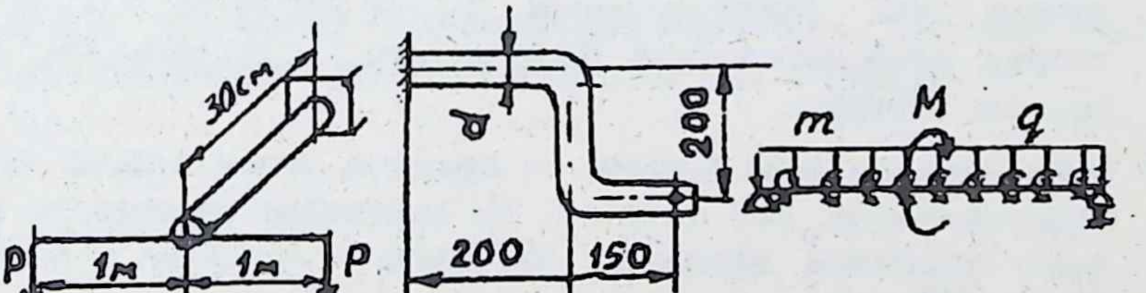
ягындагы көч, алып барыла торган яктагысына караганда, 2 тапкырга зуррак. Валның диаметры даими зурлыкта булсын, аны III теория буенча чыдамлык шартыннан чыгып, билгеләгез, $[\sigma] = 100\ МПа$.



7.26 мәсьәләгә

7.27. Валның ниндидер бер кисемендә бөгү $M_и = 1{,}2\ кНм$ һәм бөтерү $M_к = 2\ кНм$ моментлары тәэсир итә. III һәм IV теорияләр буенча исәпләп, валның диаметрын табыгыз, $[\sigma] = 100\ МПа$.

7.28. Рәсемдә күрсәтелгән борыс AB — торба кисәге, аның тышкы диаметры 50 *мм*, калынлыгы 3 *мм.* Ул бер очы белән стенага каты кысылган, икенче очына аркылы таяк эретеп ябыштырылган һәм шул таякның очларына ике йөк $P = 1000\ Н$ куелган. Торбадагы максималь көчәнешне билгеләгез. Бер йөкне алсак, борысның халәте ничек үзгәрер? III чыдамлык теориясен кулланыгыз.



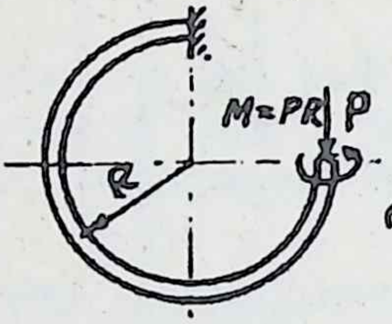
7.28 мәсьәләгә 7.29 мәсьәләгә 7.30 мәсьәләгә

7.29. Рәсемдә күрсәтелгән борыс түгәрәк кисемле таяктан ясалган. Аның K ноктасында рәсем яссылыгына перпендикуляр

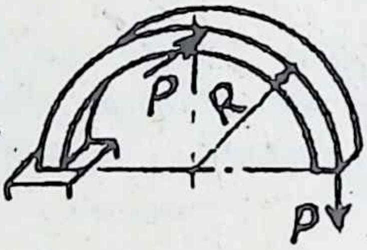
юнәлгән $P = 2$ *кН* көче куелган. Материалның $[\sigma] = 200$ *МПа*, IV чыдамлык теориясе буенча борысның диаметрын табыгыз.

7.30. Торба кисәгенә ($d = 50$ *мм*) таралган көч $q = 1000$ *Н/м* куелган. Моннан тыш, аңа таралган $m = 800$ *Нм/м* һәм тупланган $M = 800$ *Нм* моментлары тәэсир итә. III теориядән файдаланып, торбаның калынлыгын билгеләгез, $[\sigma] = 60$ *МПа*.

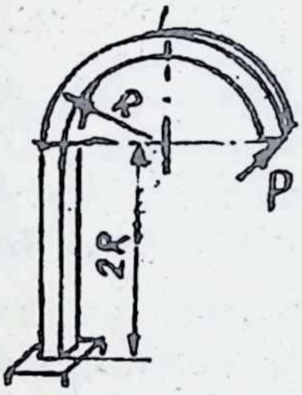
7.31. Кәкре борыс торбадан ясалган, аның диаметры $d = 60$ *мм*, калынлыгы 2 *мм*, материалы корыч, $[\sigma] = 160$ *МПа*, $R = 1$ *м*, ул нинди йөк күтәрә ала? P зурлыгын табыгыз, IV теорияне кулланыгыз.



7.31 мәсьәләгә



7.32 мәсьәләгә



7.33 мәсьәләгә

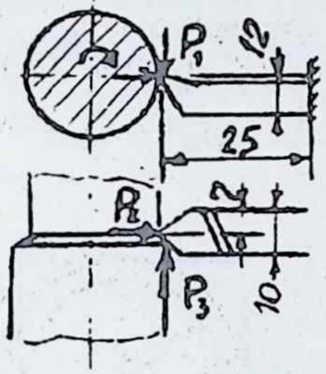
7.32. Рәсемдә күрсәтелгән кәкре борысның кисеме квадрат, 2x2 *см*. Аның ирекле очында һәм уртасында P көчләре тәэсир итә. Материалының $[\sigma] = 250$ *МПа*; $P = 500H$, *IV* теория нәтиҗәләреннән файдаланып, борысның уртача радиусын табыгыз.

7.33. Борысның аркылы кисеме — квадрат, аның очына, рәсемдә күрсәтелгәнчә, көч куелган. III чыдамлык теориясен кулланып, кисемнең зурлыгын табыгыз; $P = 200$ *кН*, $R = 200$ *мм*, $[\sigma] = 300$ *МПа*.

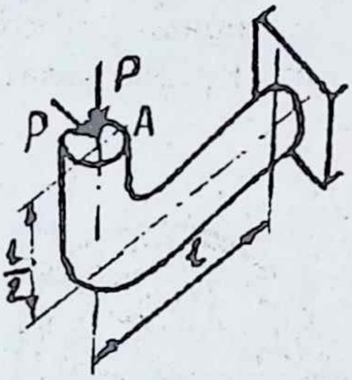
7.34. Рәсемдә кыру станогы кискече күрсәтелгән. Детальне кырган чакта, кискечкә өч көч тәэсир итә: P_1 — кисүгә каршы торучы көч, P_2 — детальнең сыгылмалы реакциясе, P_3 — кискечнең деталь буйлап хәрәкәт итүенә каршы торучы көч. Ул көчләр $P_1 = 800$ *Н*, $P_2 = 0{,}15\,P_1$, $P_3 = 0{,}35\,P_1$.

Кысылган кисемдә куркынычлы ноктаны табып, кискечнең чыдамлыгын тикшерегез, $[\sigma\,] = 160\ МПа$.

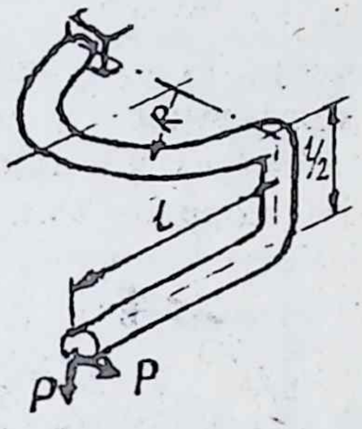
7.35. Рәсемдә күрсәтелгән борыс өчен бөгү һәм бөтерү моментлары эпюрларын төзеп, куркынычлы кисемне табыгыз һәм III теория буенча борысның диаметрын билгеләгез, борысның материалы — корыч, $[\sigma\,] = 200\ МПа$, $l = 0{,}5\ м$, $P = 1\ кН$.



7.34 мәсьәләгә



7.35 мәсьәләгә



7.36 мәсьәләгә

7.36. Алдагы мәсьәләдәге борысның квадрат формасындагы аркылы кисеменең зурлыгын табыгыз.

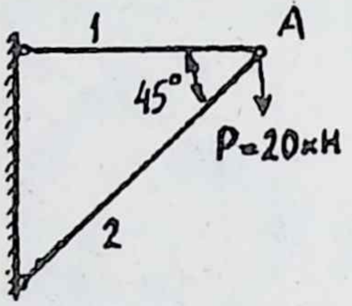
7.37. Рәсемдә күрсәтелгән борыс өчен бөгү һәм бөтерү моменты эпюрларын төзеп, куркынычлы аркылы кисемне табыгыз. IV чыдамлык теориясе нигезендә борысның диаметрын билгеләгез; $P = 2\ кН$, $R = 0{,}5\ м$, $l = 2R$, $[\sigma\,] = 200\ МПа$.

7.38. Алдагы мәсьәләдә күрсәтелгән борысның аркылы кисемнәрен бүлемтек саен аерым-аерым билгеләгез.

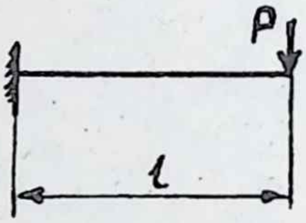
8. Энергетик методлар

8.1. Тышкы көчләрнең механик эше деформациянең потенциаль энергиясенә тигез булуын исәпкә алып, *A* ноктасының вертикаль күчешен табыгыз; материалы — корыч, $F_1 = 2\ см^2$, $F_2 = 3\ см^2$.

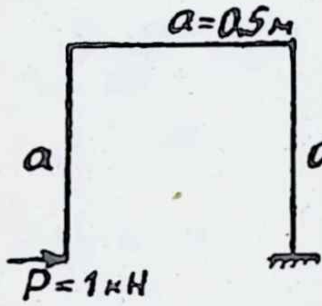
8.2. Көчнең механик эше системаның потенциаль энергиясенә тигез булуыннан файдаланып, рәсемдә күрсәтелгән балканың максималь бөгелешен исәпләп билгеләгез.



8.1 мәсьәләгә



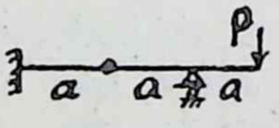
8.2 мәсьәләгә



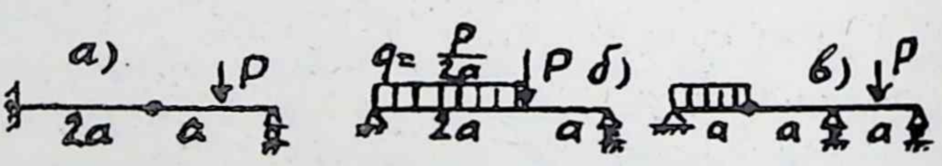
8.3 мәсьәләгә

8.3. Рәсемдә күрсәтелгән рамның иреклe очының горизонталь күчешен табыгыз, аның өчен $U = A$ тигезләмәсеннән файдаланыгыз. Башта бөгү потенциаль энергиясен генә исәпкә алыгыз. Аннары шул табылган күчеш зурлыгына нормаль һәм аркылы көчләр тәэсирен исәпләп табыгыз. Рамның аркылы киселеше 5х5 *см* квадрат, материалы — корыч.

8.4. Рәсемдә күрсәтелгән балканың ирекле очындагы бөгелешен табыгыз. Моның өчен $U = A$ тигезләмәсен кулланыгыз, $EI = \text{const}$.



8.4 мәсьәләгә

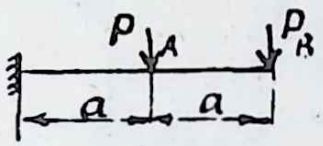


8.5 мәсьәләгә

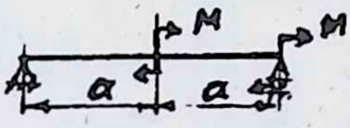
8.5. Кастильяно теоремасыннан файдаланып, күрсәтелгән балкаларның көч куелган кисемнәрендәге бөгелешләрен исәпләп табыгыз.

8.6. Балканың A һәм B кисемнәрендәге бөгелешләрен исәпләп табыгыз, EI = const. Кастильяно теоремасын кулланыгыз.

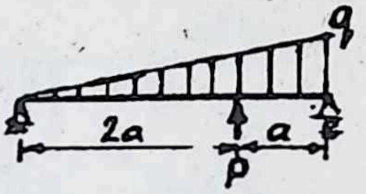
8.7. Рәсемдә күрсәтелгән балканың уң очындагы борылу почмагын билгеләгез. Кастильяно теоремасыннан файдаланыгыз.



8.6 мәсьәләгә



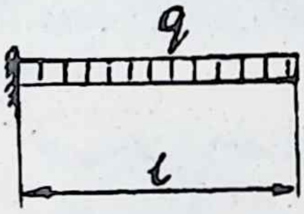
8.7 мәсьәләгә



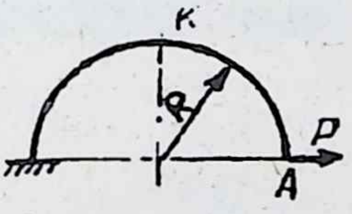
8.8 мәсьәләгә

8.8. Балканың озынлыгы 6 *м*, $P = 1{,}5\ qa$, материалы — корыч, $[\sigma\ ] = 160$ *МПа*, аркылы кисеме — тышкы диаметры 100 *мм*, калынлыгы 4 *мм* лы булган торба. Чыдамлык шартыннан чыгып, рөхсәт ителгән йөкне табыгыз, аннары балканың P көче куелган кисемендәге бөгелешен табыгыз, Максвелл — Мор методыннан файдаланыгыз.

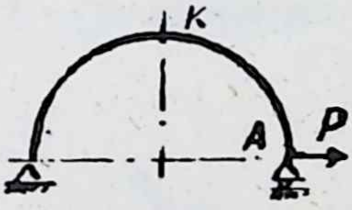
8.9. Максвелл — Мор методы буенча балканың ирекле очындагы бөгелешен һәм борылу почмагын билгеләгез, EI = const.



8.9 мәсьәләгә



8.10 мәсьәләгә



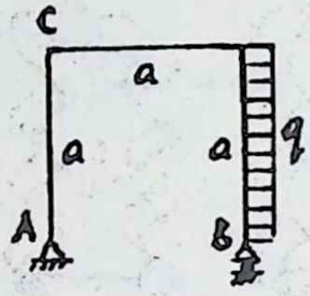
8.11 мәсьәләгә

8.10. Кәкре борысның ирекле очындагы горизонталь күчешен билгеләгез, K ноктасының вертикаль күчеше кая таба юнәлгән: өскәме, аскамы?

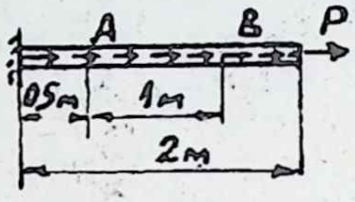
8.11. Кәкре борыстагы A кисеменең горизонталь һәм K кисеменең вертикаль күчешен исәпләп табыгыз.

8.12. Рәсемдә күрсәтелгән рам өчен *B* кисеменең күчешен һәм *C* кисеменең борылу почмагын табыгыз.

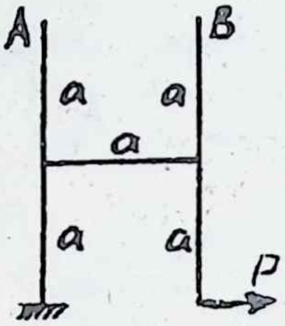
8.13. Таяк тупланган *P* һәм таралган *p* көчләре тәэсирендә сузыла, $p = P/l$. Таякның аркылы кисеме 2 *см* диаметрлы түгәрәк, материалы — корыч. *A* һәм *B* кисемнәренең бер-берсеннән ерагаюы 1 *мм* булсын өчен, йөкләр нинди зурлыкта булырга тиеш?



8.12 мәсьәләгә



8.13 мәсьәләгә

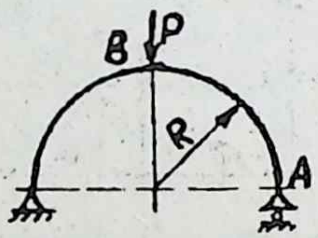


8.14 мәсьәләгә

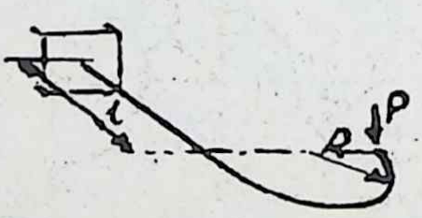
8.14. Рамның *A* һәм *B* нокталарының якынлашуын табыгыз.

8.15. Кәкре борысның *A* кисеме *B* кисеменә карата нинди почмакка борыла ? $P = 500$ *Н* , $R = 300$ *мм*, аркылы кисем — 3x3 *см* квадрат , материал — корыч.

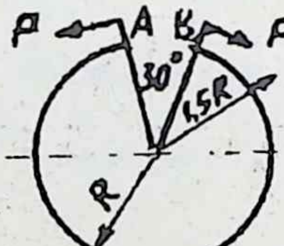
8.16. Рәсемдә күрсәтелгән борысның *P* көче куелган кисеменең вертикаль күчешен табыгыз; $P = 100$ *Н*, $l = 300$ *мм*, $R = 100$ *мм*, аркылы кисеме — 2 *см* диаметрлы түгәрәк, материалы — корыч.



8.15 мәсьәләгә



8.16 мәсьәләгә

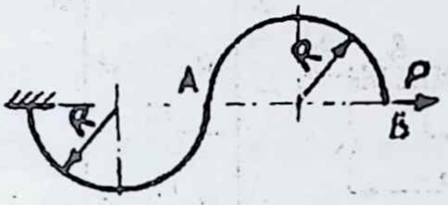


8.17 мәсьәләгә

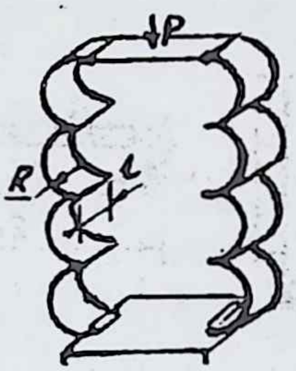
8.17. Кәкре борысның *A* һәм *B* кисемнәренең үзара күчешен табыгыз.

8.18. Бирелгән кәкре борысның A һәм B кисемнәренең горизонталь һәм вертикаль көчешләрен табыгыз.

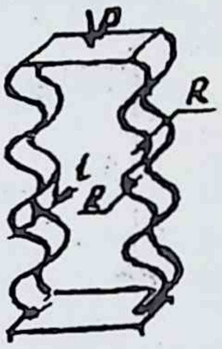
8.19. Ике кәкре борысны тоташтырып, пружина ясалган: аның материалы — корыч, пружинага киткән корыч тасмасының иңе $l = 50$ *мм*, калынлыгы 1 *мм*, $R = 20$ *мм*, «бормалар» саны $n = 10$. Шул пружинаның катылыгын (c) табыгыз; башта c өчен формула чыгарыгыз.



8.18 мәсьәләгә



8.19 мәсьәләгә

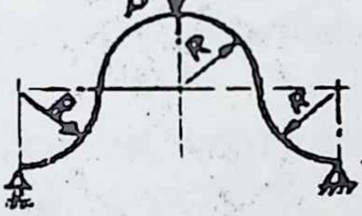


8.20 мәсьәләгә

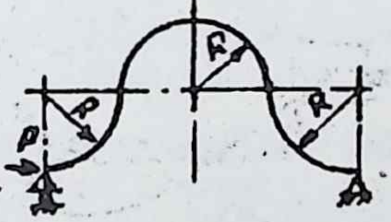
8.20. Алдагы мәсьәләдә күрсәтелгән корыч тасмадан ясалган пружинаның катылыгын табыгыз.

8.21. Рәсемдә күрсәтелгән пружинаның катылыгын һәм эластиклыгын табыгыз. Пружинаның бер очы хәрәкәтсез, икенчесе — хәрәкәт итә торган шарнир дип санагыз.

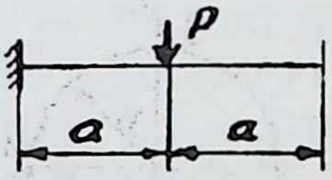
8.22. Алдагы мәсьәләдә күрсәтелгән пружинаның горизонталь юнәлештә кыскан чактагы катылыгын һәм эластиклыгын табыгыз.



8.21 мәсьәләгә



8.22 мәсьәләгә

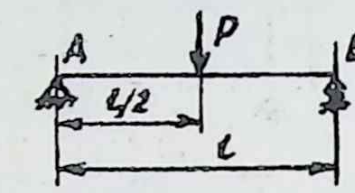


8.23 мәсьәләгә

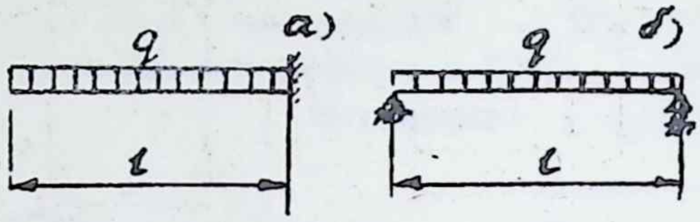
8.23. Балканың иреклe очының бөгелешен һәм борылу почмагын билгеләгез. Верещагин ысулын кулланыгыз.

8.24. Балканың максималь бөгелешен табыгыз, $EI = \text{const}$.

8.25. Рәсемдә күрсәтелгән балкаларның максималь бөгелешен исәпләү өчен аңлатмалар чыгарыгыз.



8.24 мәсьәләгә

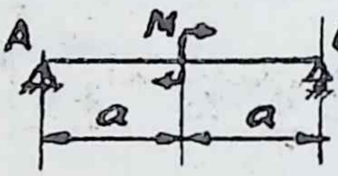


8.25 мәсьәләгә

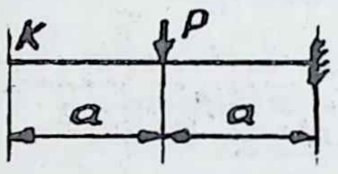
8.26. Алдагы мәсьәләдәге балкаларның сул очларының борылу почмакларын табыгыз.

8.27. Балканың A һәм B кисемнәренең үзара борылу почмагын билгеләгез.

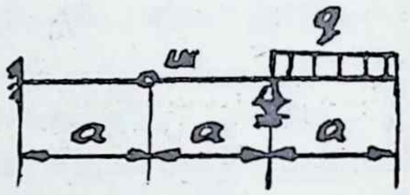
8.28. Балканың K кисемендәге бөгелеше A кисемендәге бөгелешеннән ничә тапкырга зур?



8.27 мәсьәләгә



8.28 мәсьәләгә



8.29 мәсьәләгә

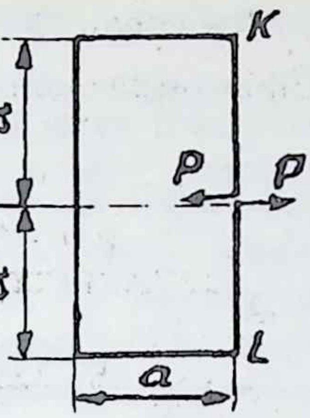
8.29. Шарнирда борылу почмагы сикерешен табыгыз.

8.30. Алдагы мәсьәләдәге балка өчен шарнирдагы $\theta_{сул}$ һәм $\theta_{уң}$ борылу почмакларын табыгыз.

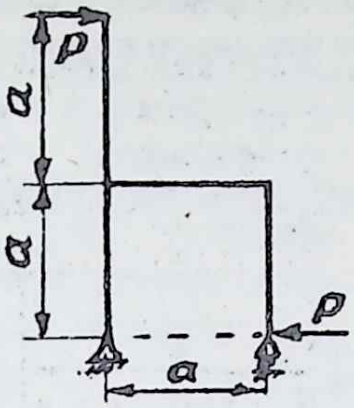
8.31. Бу рамның K һәм L нокталары якынаямы , әллә ераклашамы?

8.32. A кисеменең күчешен билгеләгез: $P = 5$ *кН*, $a = 1$ *м*, рам 10 нчы икетамгадан ясалган.

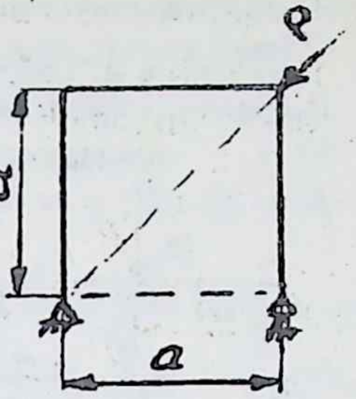
8.33. Рамның уртасында бөгелеш 1 *мм* дан артмасын өчен, аның кисеме ничәнче номерлы икетамга булырга тиеш? Бирелгән зурлыклар: $P = 20$ *кН*, $a = 1$ *м*.



8.31 мәсьәләгә

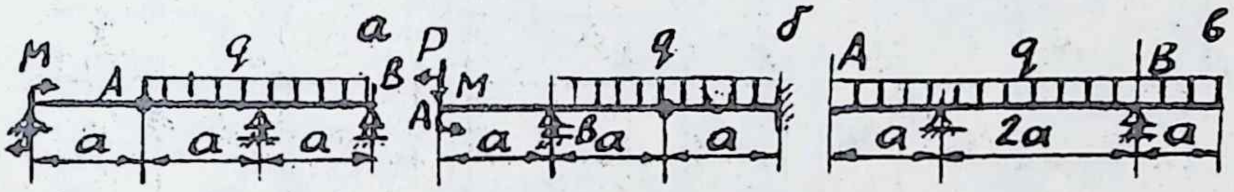


8.32 мәсьәләгә



8.33 мәсьәләгә

8.34. Рәсемдә күрсәтелгән балкаларның A кисемендәге бөгелешен һәм B кисемендәге борылу почмагын билгеләгез; $a = 1$ *м*, $q = 10$ *кН/м* , $P = 20$ *кН*, $M = 20$ *кНм*, башта чыдамлык шартыннан чыгып, ике швеллердан торган кисемнәрен табыгыз, $[\sigma\ ] = 160$ *МПа*.



8.34 мәсьәләгә

8.35. 8.33 нче мәсьәләдә күрсәтелгән рамның уң терәк кисеме көчешен табыгыз. Чишү нәтиҗәсенең аңлатмасын гына китерегез. Барлык зурлыклар бирелгән дип санагыз.

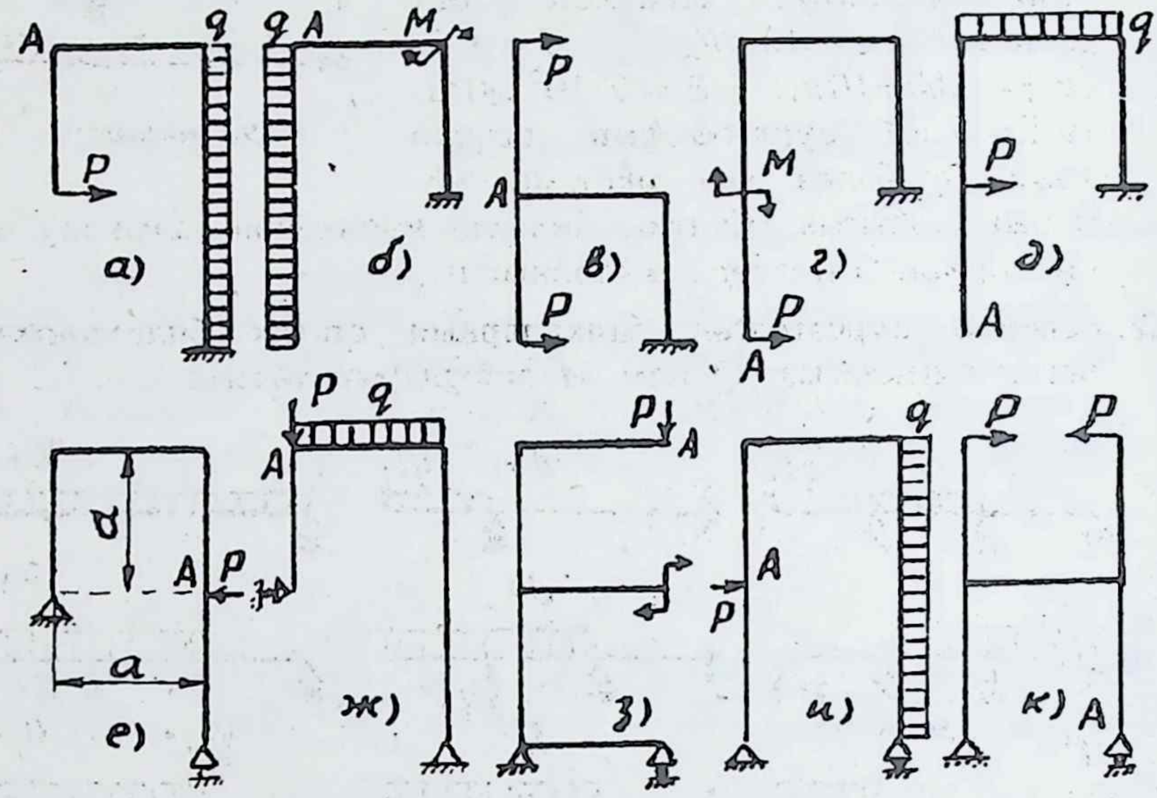
8.36. Винт сыман пружинаның озынаюын (кыскаруын), аның күтәрелү почмагы кечкенә булганда, мондый формуладан табалар:

$$\lambda = \frac{8PD^3n}{Gd^4}.$$

Бу формуланы чыгарганда, бөтерү моменты гына исәпкә алынган, ә бөгү моменты кечкенә дип саналган. Бөгү моментын да

исәпкә алып, чын формуланы чыгарыгыз һәм алда күрсәтелгән формуланың куллану чикләрен күрсәтегез.

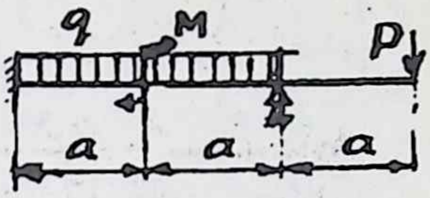
8.37. Рәсемдә күрсәтелгән рамнарның A кисемендәге тулы сызыкча һәм почмакча күчешләрен табыгыз; $M = 20$ *кНм*, $P = 20$ *кН*, $q = 10$ *кН/м*, $EI = 10000$ *кНм*^{2}.



8.37 мәсьәләгә

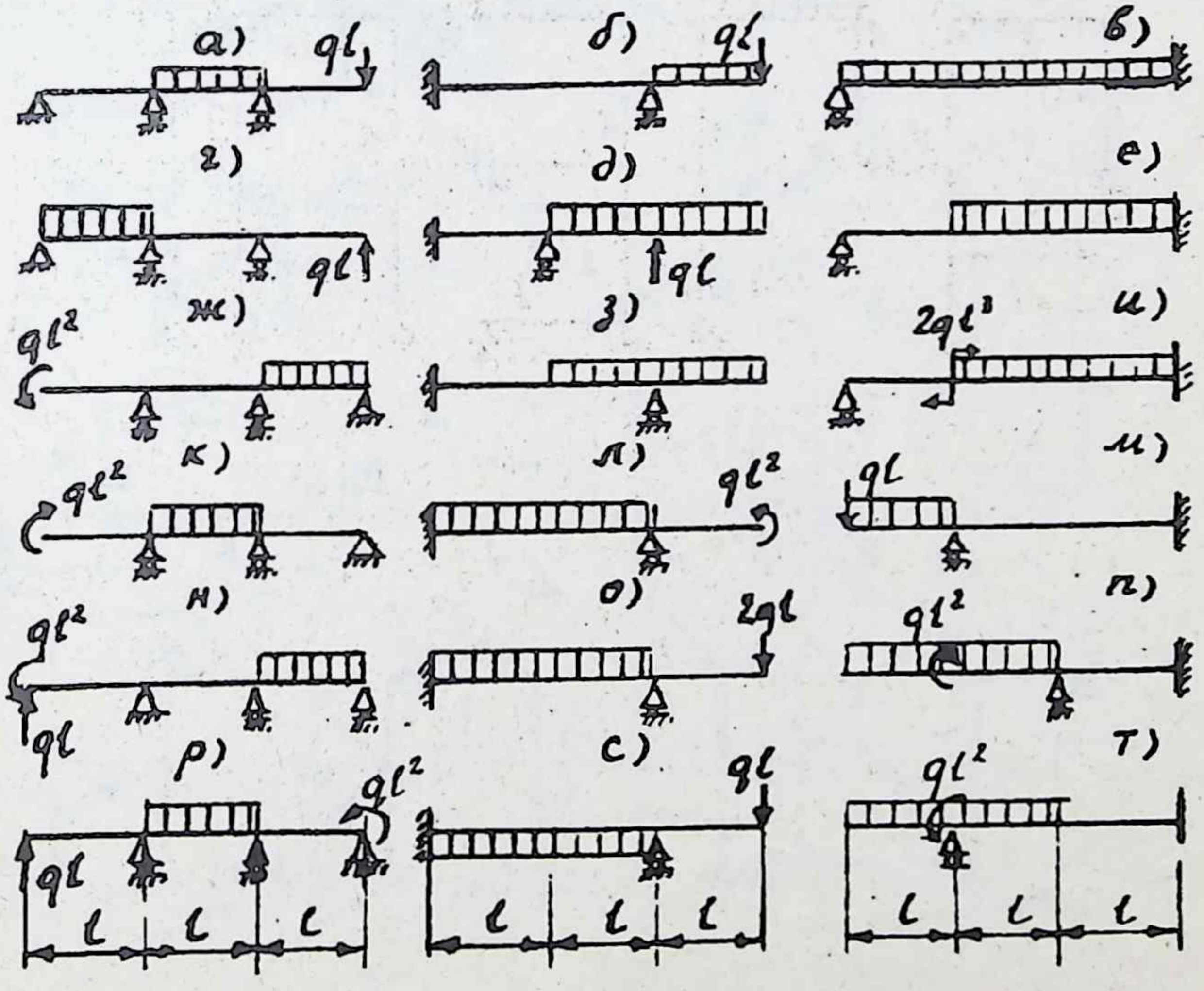
9. Статик билгеләнмәгән системаларны исәпләү

9.1. Рәсемдә күрсәтелгән балканың, статик билгеләнмәгәнлеген ачыклап һәм Q, M эпюрларын төзеп, куркынычлы кисемен билгеләгез. Бирелгән $q = 10$ *кН/м*, $l = 1$ *м*, $[\sigma] = 160$ *МПа*, $E = 2 \cdot 10^5$ *МПа*, $[y] = 5$ *мм* зурлыкларын исәпкә алып, бу балка өчен икетамга номерын табыгыз. Статик билгеләнмәгәнлекне ачыклау өчен универсаль тигезләмә кулланыгыз.

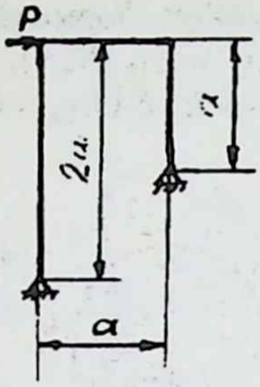


9.1 мәсьәләгә

9.2. Рәсемдә күрсәтелгән балкаларның статик билгеләнмәгәнлеген ачыклагыз, Q һәм M эпюрларын төзегез.



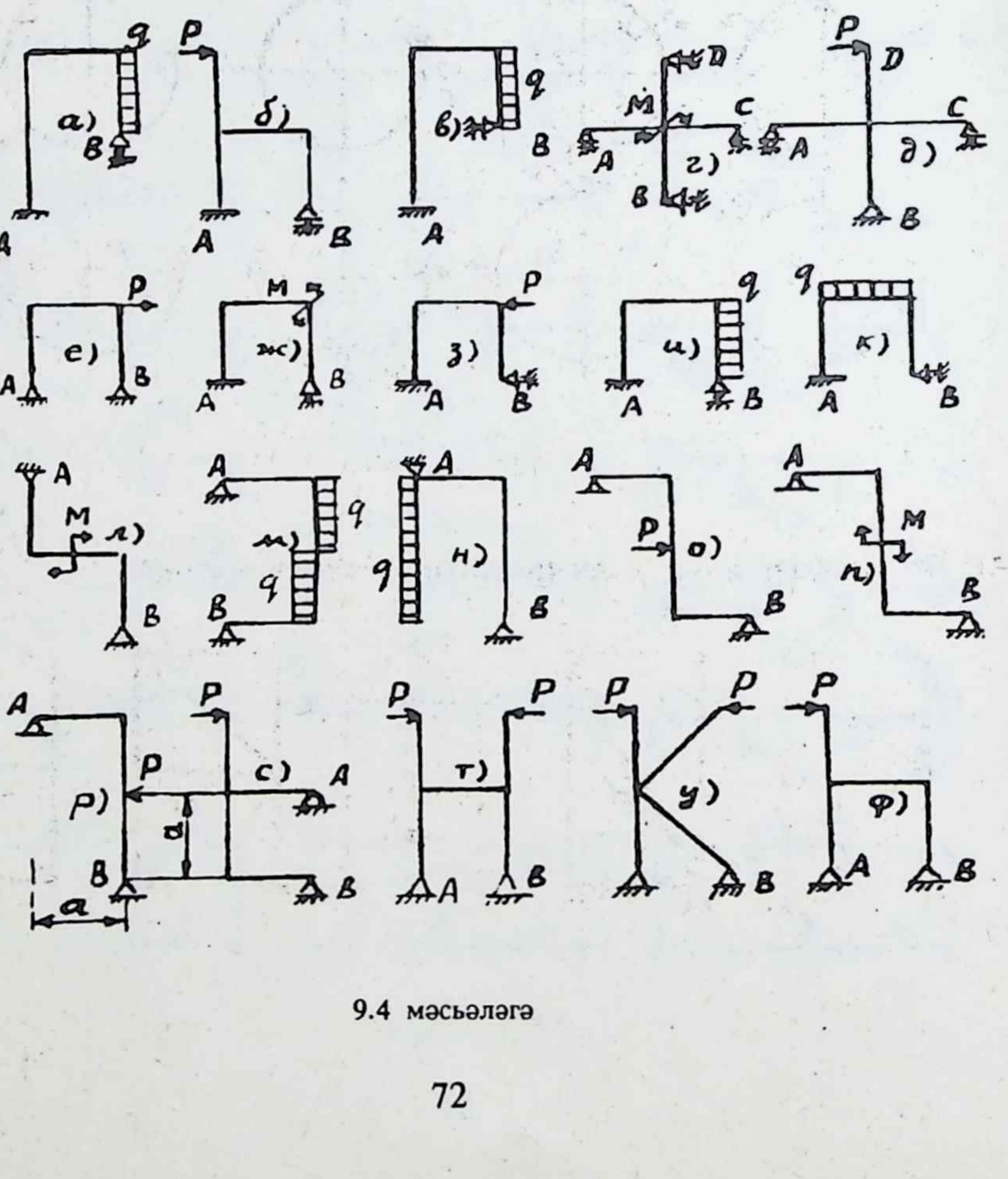
9.2 мәсьәләгә



9.3 мәсьәләгә

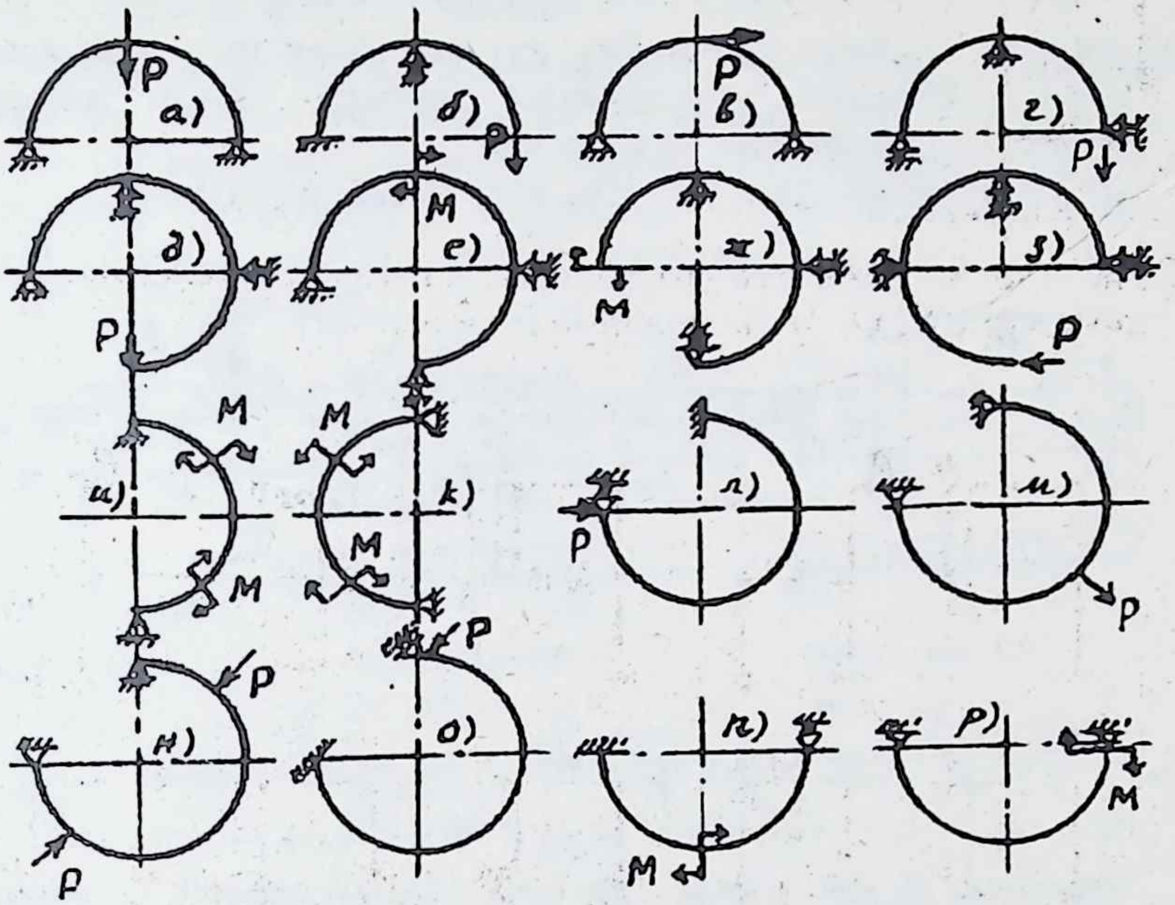
9.3. Рамның статик билгеләнмәгәлеген ачыклап, N, Q, M эпюрларын төзегез.

9.4. Рәсемдә күрсәтелгән рамнарның статик билгеләнмәгәнлеген ачыклап, N, Q, M эпюрларын төзегез.



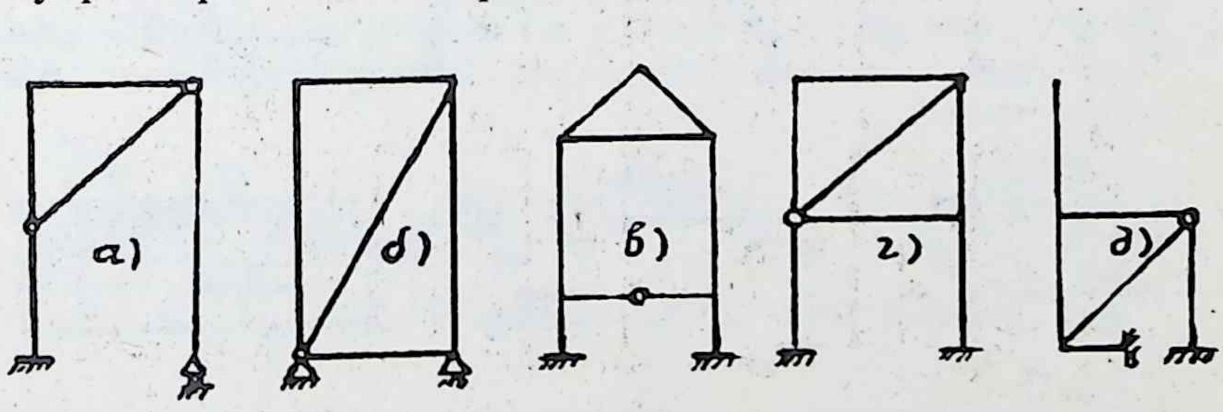
9.4 мәсьәләгә

9.5. Рәсемдә күрсәтелгән әйләнә формасындагы кәкре борысларның статик билгеләнмәгәнлеген ачыклап, алар өчен N, Q, M эпюрларын төзегез һәм куркынычлы кисемнәрен билгеләгез. Әйләнәнең радиусы R.



9.5 мәсьәләгә

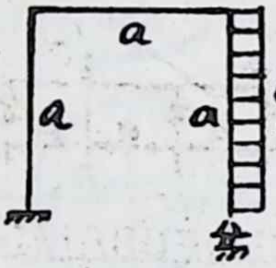
9.6. Бу рамнар ничә тапкыр статик билгеләнмәгән?



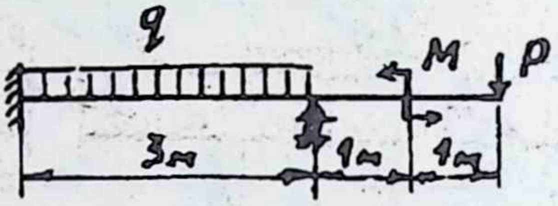
9.6 мәсьәләгә

9.7. Рамның вертикаль өлешләренең бөгү катылыгы EI, горизонталь бүлемтегенеке $EI/2$. Материалның рөхсәт ителгән көчәнеше $[\sigma] = 160$ *МПа*, $a = 200$ *мм*, $q = 10$ *Н/см*. Чыдамлык шартыннан рамның аркылы кисемнәренең зурлыкларын табыгыз; аркылы кисем квадрат формасында.

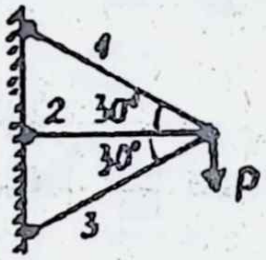
9.8. Рәсемдә күрсәтелгәнчә йөк куелган балканың (аркылы кисеме — түгәрәк) куркынычлы кисемен табып, диаметрын билгеләгез. Бирелгән зурлыклар:
$[\sigma] = 10$ *МПа*, $M = 20$ *кНм*, $P = 10$ *кН*, $q = 10$ *кН/м*.



9.7 мәсьәләгә



9.8 мәсьәләгә



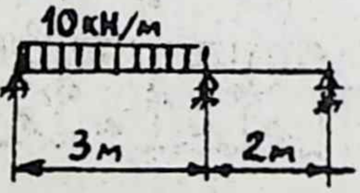
9.9 мәсьәләгә

9.9. $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^5$ *МПа*, $E_3 = E_1/2$, $F_1 = 2F_2 = 2F_3$,

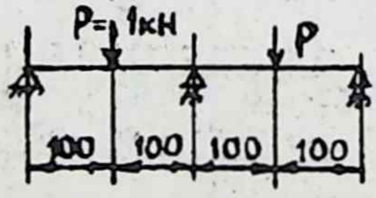
$[\sigma]_1 = [\sigma]_2 = 160$ *МПа*, $[\sigma]_3 = 60$ *МПа*, $l_2 = 2$ *м*, $P = 15$ *кН*

булганда, таякларның аркылы кисемнәренең мәйданнары һәм көч куелган ноктаның вертикаль күчеше нинди була? Мәсьәләне көч методы белән чишегез.

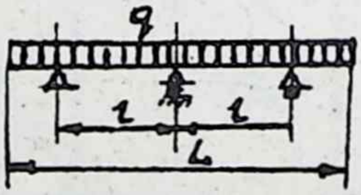
9.10. Рәсемдә күрсәтелгән балканың материалы — агач, $[\sigma] = 10$ *МПа*, аркылы кисеме — түгәрәк. Чыдамлык шартыннан чыгып, кисемнең диаметрын табыгыз. Аннары балканың уң очы кисеменең борылу почмагын исәпләп билгеләгез.



9.10 мәсьәләгә



9.11 мәсьәләгә

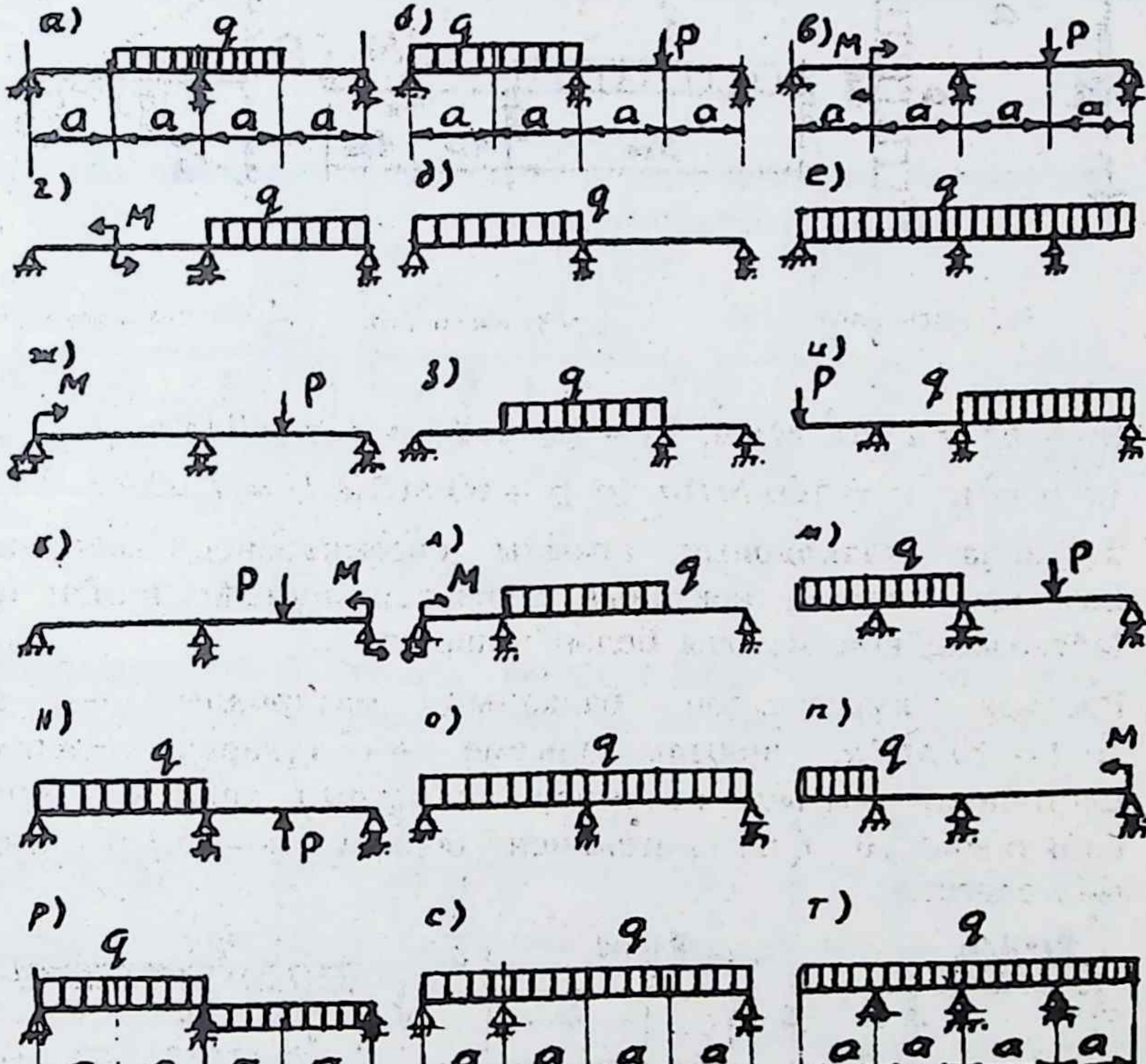


9.12 мәсьәләгә

9.11. Балканың материалы — корыч, $\sigma_т = 240\ МПа$. Чыдамлык запасы коэффициентын $n = 2$ дип алып, рәсемдә күрсәтелгән балканың аркылы кисемен (квадрат) табыгыз.

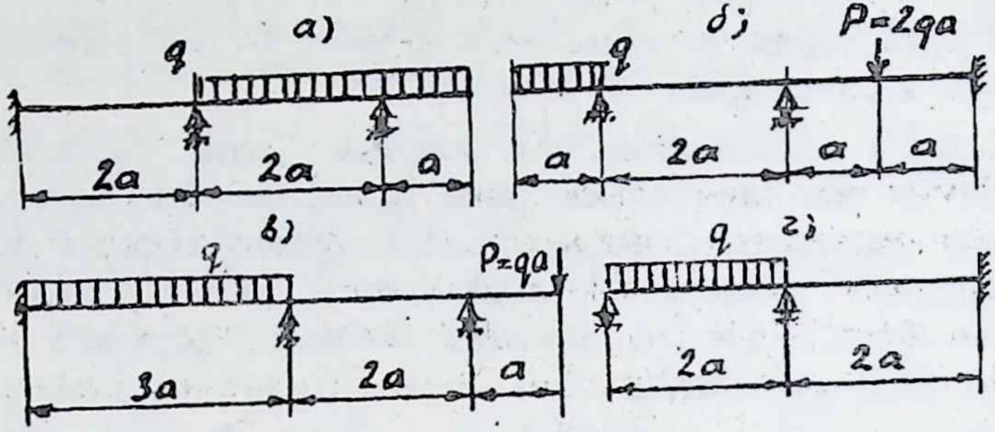
9.12. Барлык терәк реакцияләренең тигез булуы шартыннан, аралык зурлыкларын (l) табыгыз.

9.13. Рәсемдә күрсәтелгән балкаларның статик билгеләнмәгәнлеген өч момент тигезләмәсен кулланып ачыклагыз. Чыдамлык шартыннан чыгып, балкаларның аркылы кисемнәрен табыгыз. Бирелгән зурлыклар: $M = 20\ кНм$, $P = 30\ кН$, $q = 10\ кН/м$, $a = 2\ м$, аркылы кисемнең формасы — икетамга, $[\sigma] = 160\ МПа$.



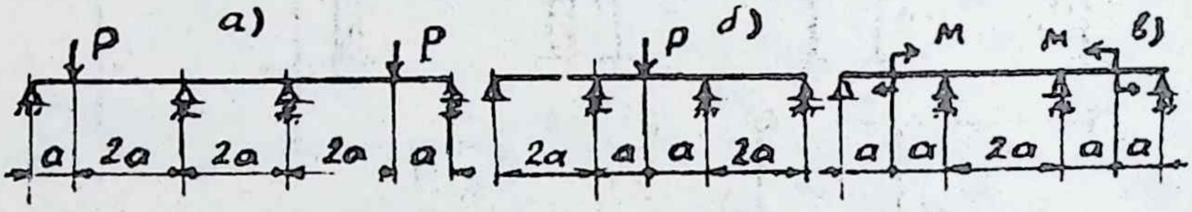
9.13 мәсьәләгә

9.14. Рәсемдә күрсәтелгән балкаларның статик билгеләнмәгәнлеген ачыклап, Q һәм M эпюрларын төзегез.



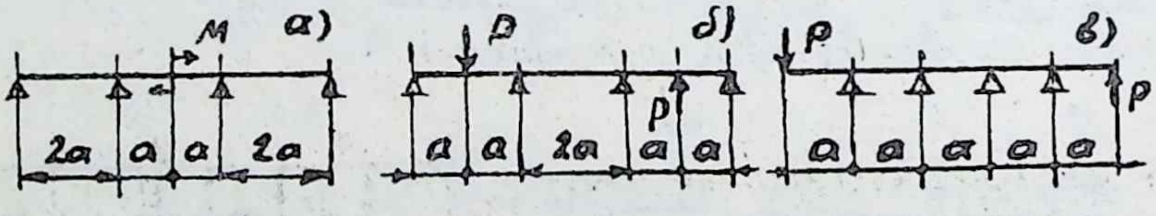
9.14 мәсьәләгә

9.15. Симметрик балкаларның статик билгеләнмәгәнлеген ачыклап, Q һәм M эпюрларын төзегез.



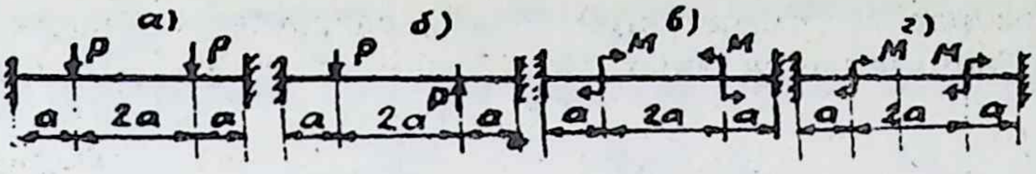
9.15 мәсьәләгә

9.16. Кыек симметрик балкаларның статик билгеләнмәгәнлеген ачыклагыз, шуннан соң Q һәм M эпюрларын төзегез.



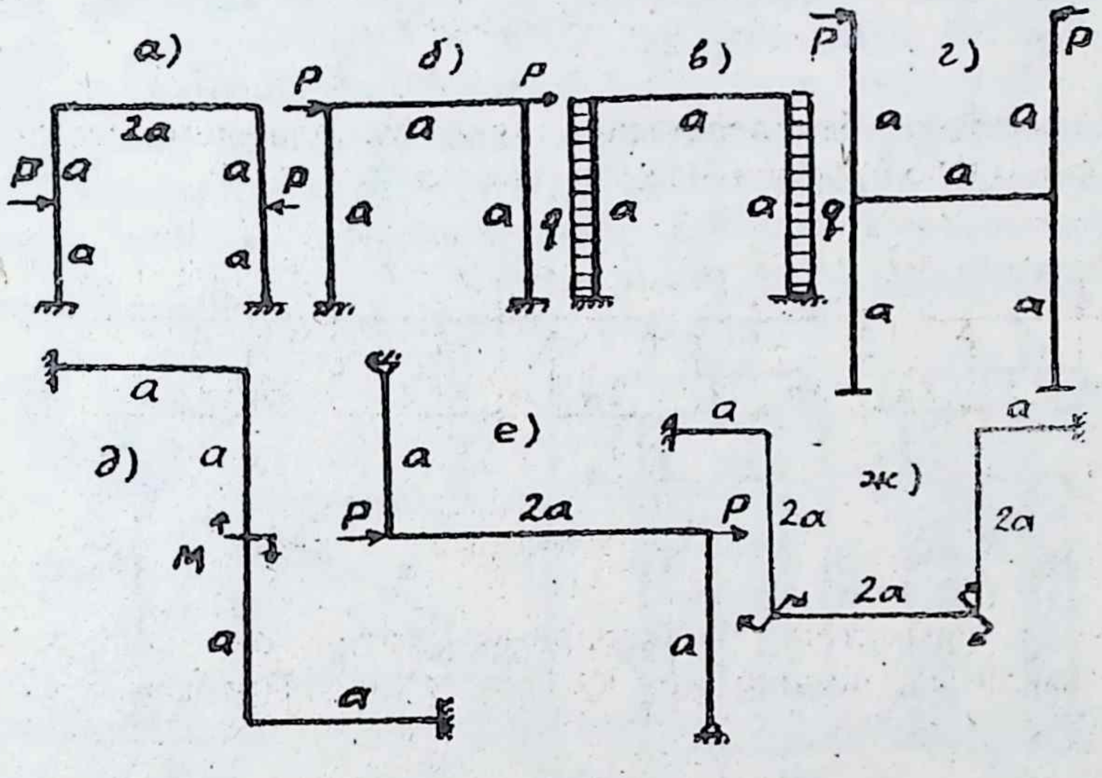
9.16 мәсьәләгә

9.17. Рәсемдә күрсәтелгән балкалар өчен Q һәм M эпюрларын төзегез һәм урта кисемнәрдәге бөгелешләрне табыгыз.



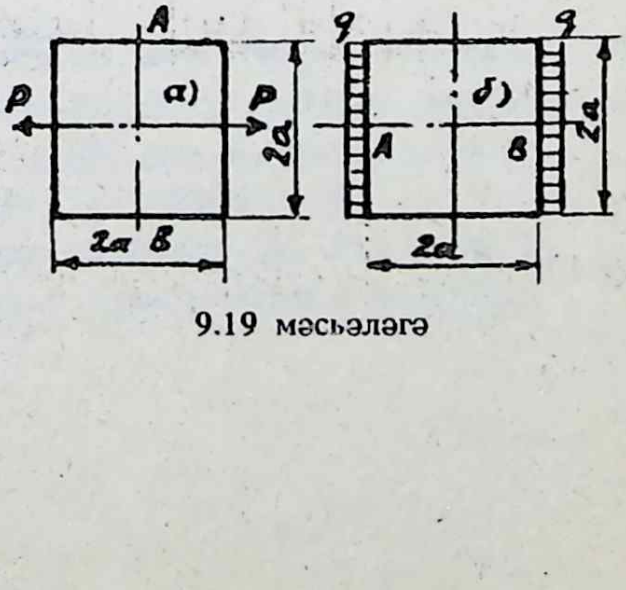
9.17 мәсьәләгә

9.18. Симметрик һәм кыек симметрик рамнарның статик билгеләнмәгәнлеген ачыклагыз, N, Q, M эпюрларын төзегез. Квадрат формасындагы аркылы кисемнең зурлыгын табыгыз. Бирелгән: $M = 200\ Н \cdot см$, $P = 100\ Н$, $q = 10\ Н/см$, $E = 2 \cdot 10^5\ МПа$, $[\sigma] = 160\ МПа$. Уртадагы кисемнең вертикаль күчешен табыгыз.



9.18 мәсьәләгә

9.19. Рәсемдә күрсәтелгән симметрик рамнарның A һәм B кисемнәренең бер-берсенә карата күчешләрен табыгыз. Исәпкә бөгү моменты тәэсирен генә алыгыз.

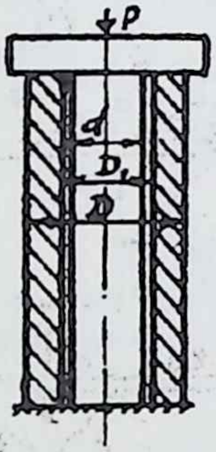


9.19 мәсьәләгә

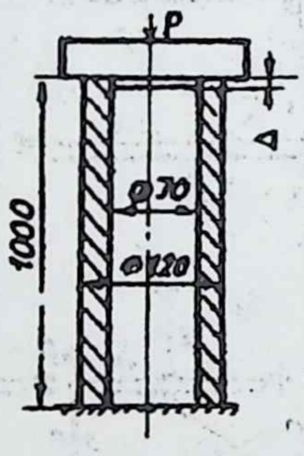
10. Чикләмә халәт (күтәрү сәләте) нигезендә исәпләү

10.1. Рәсемдә күрсәтелгән баганаңың үзәк өлеше корычтан, тышкысы — бакырдан (бронзадан) ясалган; корычның агучанлык чиге $\sigma_т^к = 240\ МПа$, бронзаныкы $\sigma_т^б = 100\ МПа$, диаметрлар $D = 100\ мм$, $D_1 = 62\ мм$, $d = 60\ мм$, чыдамлык запасы коэффициенты $n = 2$. Рөхсәт ителгән көчәнеш һәм күтәрү сәләте нигезендә P көченең куркынычсыз зурлыгын табып, ике метод белән табылган көч кыйммәтләрен чагыштырыгыз.

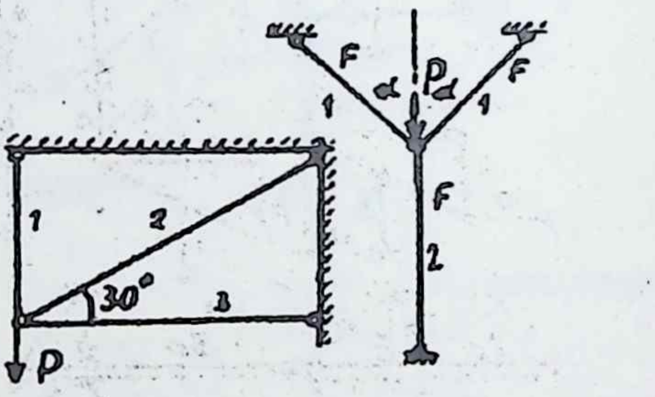
10.2. Үзәк таяк — дюралюминийдән, торба — корычтан ясалган: $\sigma_т^д = 160\ МПа$, $\sigma_т^к = 240\ МПа$. Үзәк таяк торбадан $\Delta = 0{,}5\ мм$ га кыскарак. Запас коэффициентын $n = 2$ дип алып, рөхсәт ителгән көчне табыгыз (башта рөхсәт ителгән көчәнеш, аннары күтәрү сәләте методы нигезендә). Көчнең зурлыгы үсә барганда, стерженьнәрнең кайсысы агучанлык халәтенә алданрак барып җитә?



10.1 мәсьәләгә

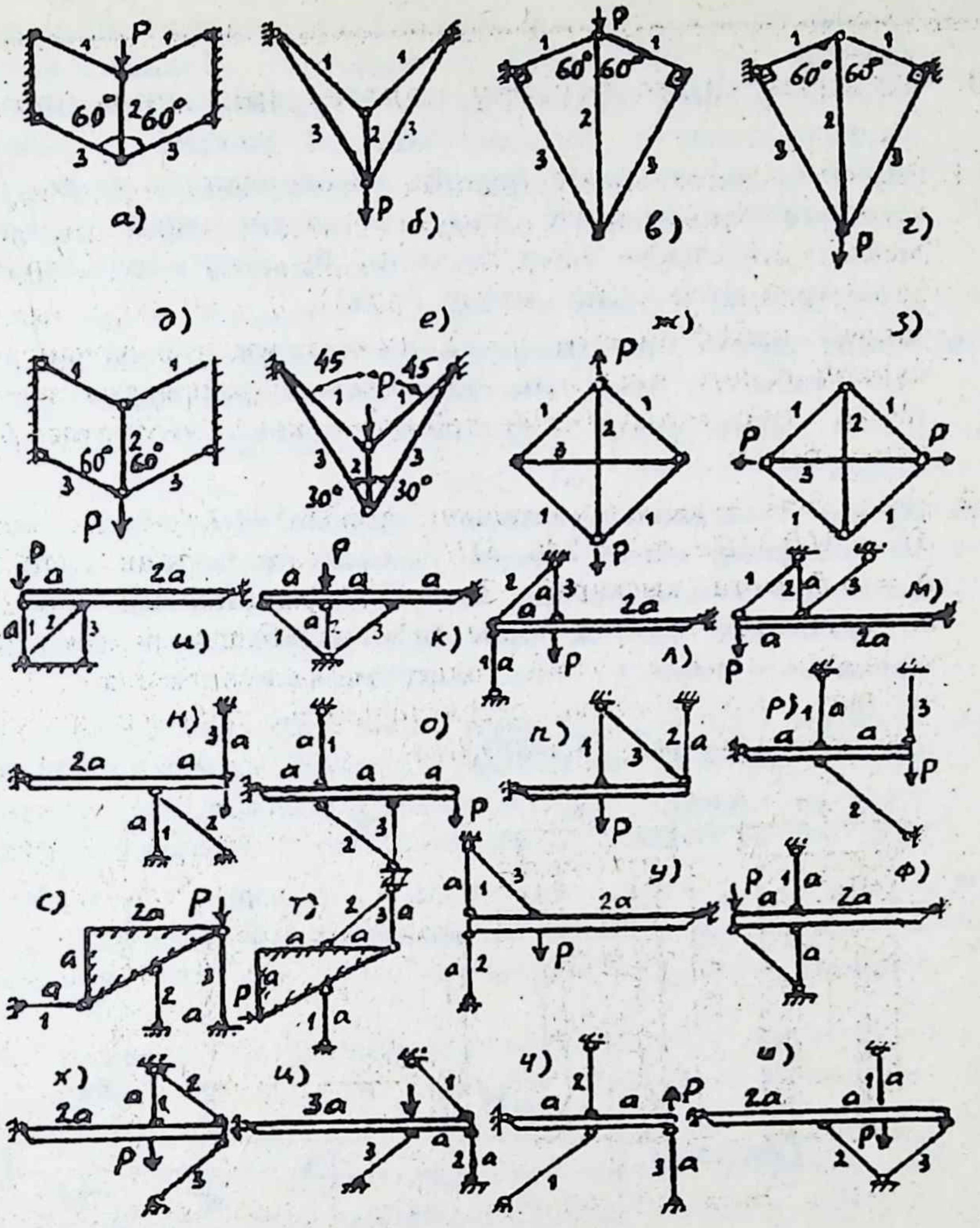


10.2 мәсьәләгә



10.4, 10.5 мәсьәләләргә

10.3. Рәсемдә күрсәтелгән системалар өчен стерженьнәренең аркылы кисем зурлыкларын табыгыз. Стерженьнәрнең материаллары: 1 — корыч, $\sigma_{т1} = 240\ МПа$, 2 — бакыр, $\sigma_{т2} = 120\ МПа$, 3 — дюралюминий, $\sigma_{т3} = 160\ МПа$, $F_1 : F_2 : F_3 = 1 : 2 : 3$; $P = 60\ кН$. Исәпләүне ике метод белән үткәреп, нәтиҗәләрне чагыштырыгыз.



10.3 мәсьәләгә

10.4. Таякларның материаллары һәм кисем зурлыклары бирелгән: 1 — корыч, 2 — бакыр, 3 — дюралюминий, $\sigma_{т1} = 240$ *МПа*, $\sigma_{т2} = 120$ *МПа*, $\sigma_{т3} = 165$ *МПа*, $F_1 = F_2 = 2F_3 = 4$ *см*^{2}, запас коэффициенты $n = 1{,}5$. Күтәрү сәләтенә нигезләнгән метод белән исәпләп, көчнең куркынычсыз зурлыгын табыгыз.

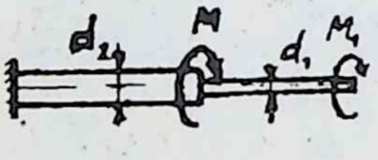
10.5. Барлык таяклар да бер материалдан ясалган, аның агучанлык чиге $\sigma_т$, таякларның буйлары l_1, l_2. Чикләмә халәт нигезендә көчнең рөхсәт ителгән зурлыгын табыгыз, запас коэффициенты n. Билгеле, чикләмә халәттә барлык таякларда да нормаль көч бердәй, димәк, система тигез каршылыклыга охшаган. Ә исәпләү рөхсәт ителгән көчәнеш методы нигезендә алып барылса, бу системаны тигез каршылыклы итеп булыр идеме икән?

10.6. Бөҗра сыман аркылы кисемнең пластик каршылык моментын табыгыз һәм аны гади поляр каршылык моменты белән чагыштырыгыз. Бөҗраның тышкы диаметры D, калынлыгы δ.

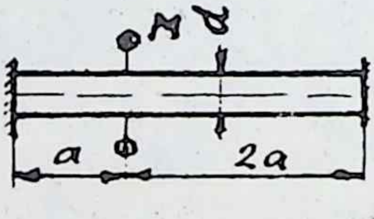
10.7. Валның материалы — корыч, $\sigma_т = 600$ *МПа.* Вал, минутына 100 әйләнеш ясап, 50 *кВт* егәрлек тапшырсын өчен, аның диаметры нинди булырга тиеш? Моны ачыклар өчен, өченче чыдамлык теориясеннән файдаланыгыз һәм чикләмә халәткә нигезләнегез. Запас коэффициенты $n = 1,5$.

10.8. Мәгълүм булганча, чикләмә халәт нигезендә исәпләү рөхсәт ителгән көчәнеш нигезендә исәпләүгә караганда, экономиялерәк нәтиҗәләргә китерә. Аның файдасы кайчан ныграк сизелә: тоташ кисемле валлардамы, әллә көпшә сыманындамы?

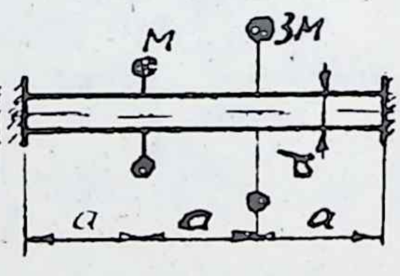
10.9. Түгәрәк борысның материалы — корыч, $\tau_т = 150$ *МПа*, $d_1 = 20$ *мм*, $d_2 = 30$ *мм*. Запас коэффициентын $n = 1,5$ зурлыгында алып, сул кисемдәге бөтерү моментын табыгыз.



10.9 мәсьәләгә



10.10 мәсьәләгә



10.11 мәсьәләгә

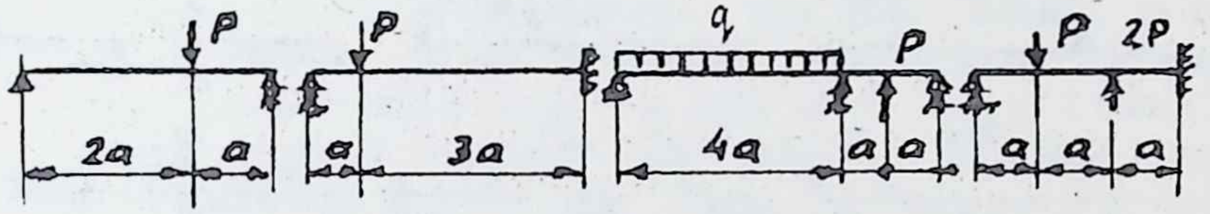
10.10. Стерженьнең ике очы да кыстырып беркетелгән, аңа 1000 *Нм* зурлыктагы момент тәэсир итә. Материалның

агучанлык чиге $\sigma_т = 480\ МПа$, дүртенче чыдамлык теориясен кулланып, валның диаметрын табыгыз. Исәпләүне ике метод белән башкарып,. валның массасын чагыштырыгыз; запас коэффициенты $n = 1{,}5$.

10.11. Валның диаметры $d = 60\ мм$. Моментның $\tau_т = 200\ МПа$, запас коэффициенты $n = 1{,}5$ булгандагы куркынычсыз $[M]$ зурлыгын табыгыз.

10.12. Өч төрле (түгәрәк, квадрат, икетамга) аркылы кисемнең пластик каршылык моментларын гади бөгүгә каршылык моментлары белән чагыштырыгыз.

10.13. Рәсемдә күрсәтелгән балканың материалы — корыч, $\sigma_т = 240\ МПа$; $a = 0{,}2\ м$, чыдамлык запасы коэффициенты $n = 1{,}5$. Рөхсәт ителгән көчәнеш һәм чикләмә халәт нигезендә исәпләп, көчнең куркынычсыз зурлыгын табыгыз һәм ике исәпләүнең нәтиҗәләрен чагыштырыгыз. Балканың аркылы кисеме — 2х2 *см* квадрат.



10.13 мәсьәләгә 10.15 мәсьәләгә 10.17 мәсьәләгә 10.18 мәсьәләгә

10.14. Боҗра сыман аркылы кисемнең (тышкы диаметры D, калынлыгы δ) пластик бөгелүгә каршылык моментын табыгыз.

10.15. Балка корыч икетамгадан ясалган, $\sigma_т = 240\ МПа$, $a = 1\ м$, $P = 18\ кН$; запас коэффициентын $n = 1{,}5$ дип алып, чикләмә халәте нигезендә икетамганың номерын исәпләп табыгыз.

10.16. Исәпләүне рөхсәт ителгән көчәнеш нигезендә алып барсак, бу балкага нинди көч куеп була?

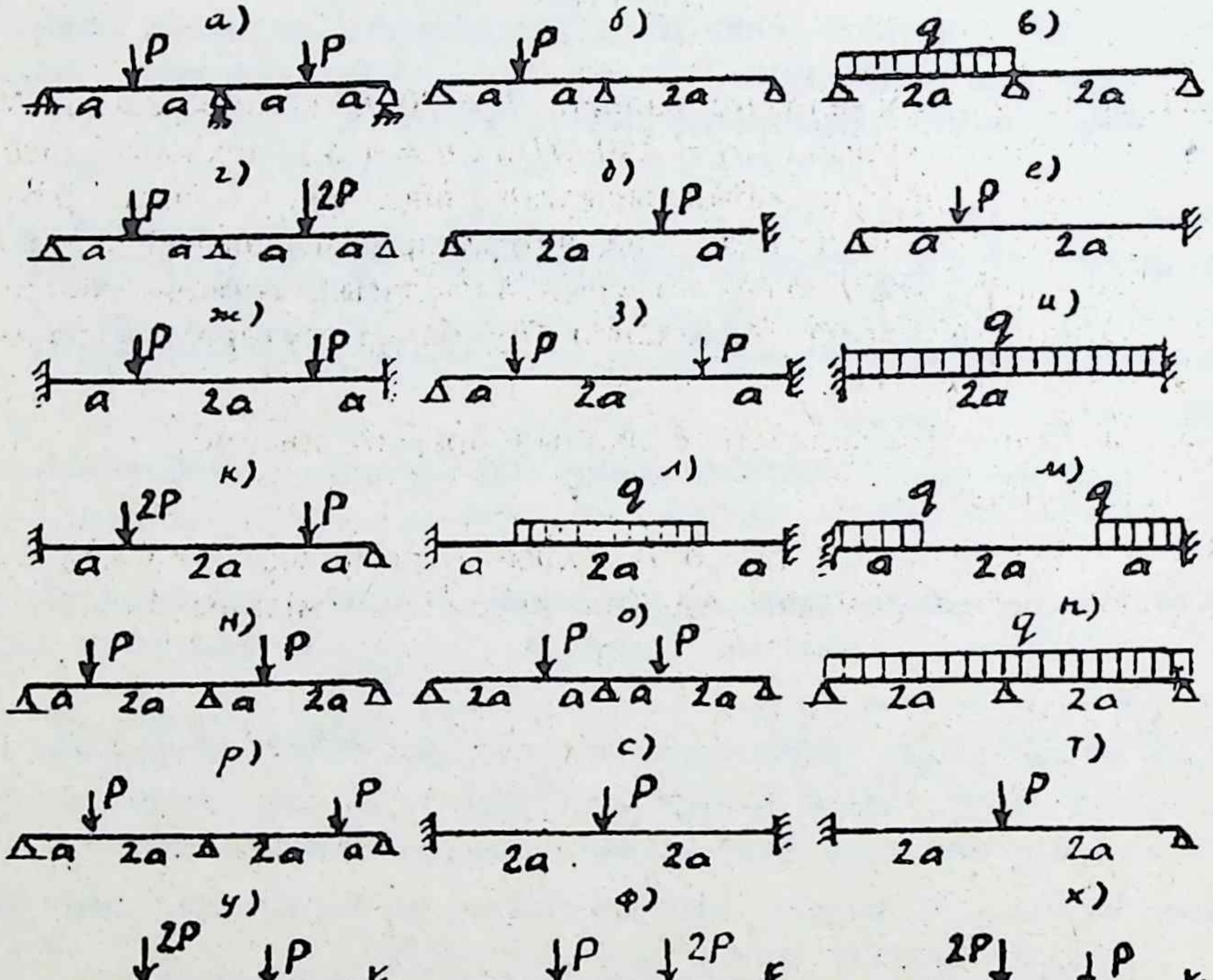
10.17. Балканы таралган q һәм тупланган $P = 2qa$ көчләре йөкли. Чикләмә халәте нигезендә йөкнең (q) куркынычсыз зурлыгын табыгыз; бирелгән зурлыклар: a, $\sigma_т$ n, $W_{пл}$.

10.18. Балкага куелган көчләр билгеле: $P = 1\ кН$, материалының агучанлык чиге 300 МПа, чыдамлык запасы коэффициенты 1,5, $a = 100\ мм$, аркылы кисеме — түгәрәк. Чикләмә халәт нигезендә исәпләп, шул түгәрәкнең диаметрын табыгыз.

10.19. Рәсемдә күрсәтелгән балкалар өчен (кисемнәре — икетамга, $\sigma_т = 240\ МПа$, $n = 1{,}5$, $a = 1\ м$, $P = 20\ кН$, $q = P/a$)

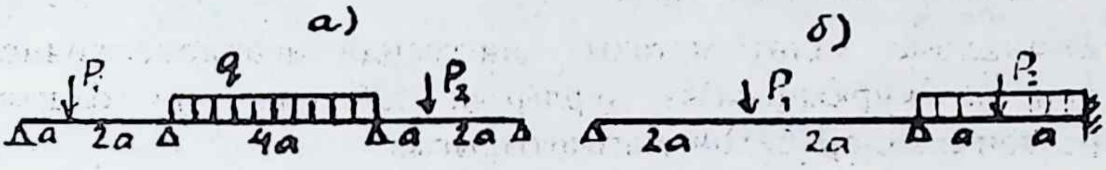
1) рөхсәт ителгән көчәнеш методы нигезендә исәпләп, икетамганың номерын табыгыз;

2) чикләмә халәт методы нигезендә исәпләп, көчнең (P яки q) куркынычсыз зурлыгын табыгыз һәм башта бирелгән көчләр белән чагыштырыгыз.



10.19 мәсьәләгә

10.20. Балкага куелган көчләрнең барысы да q зурлыгына пропорциональ рәвештә үсә: $P_1 = 2qa$, $P_2 = 3qa$; материалның агучанлык чиге $\sigma_т = 240$ *МПа*, чыдамлык запасы коэффициенты $n = 1{,}5$, $a = 0{,}5$ *м*. Чикләмә халәт методы нигезендә көчләрнең куркынычсыз зурлыкларын табыгыз. Аркылы кисем: беренче балканыкы 50 *мм* диаметрлы түгәрәк, икенчесенеке — ягы 40 *мм* булган квадрат.



10.20 мәсьәләгә

10.21. 10.15 нче мәсьәләдәге балкага $P = 20$ *кН* көче куелган. Материалы — корыч, $\sigma_т = 240$ *МПа*, $n = 1{,}5$, аркылы кисеме - ике эретеп ябыштырылган швеллер. Башта, рөхсәт ителгән көчәнеш методына нигезләнеп, чыдамлык шартыннан шул швеллерлар номерын ачыклагыз. Аннары чикләмә халәте методына нигезләнеп, бу балка күтәрә ала торган көчне табыгыз.

10.22. 10.13 нче мәсьәләдәге балканың аркылы кисеме

1) түгәрәк,

2) боҗра ($c = d/D = 0{,}9$) булса, куркынычсыз көчнең зурлыгы ничек үзгәрә? Аркылы кисемнең мәйданы 4 $см^2$.

11. Кысылган борысларның тотрыклылыгын исәпләү

11.1. Берничә материалның чикләмә бөгелүчәнлеген табыгыз:

а) азуглеродлы корыч, $\sigma_п = 200\ МПа$, $E = 2 \cdot 10^5\ МПа$;

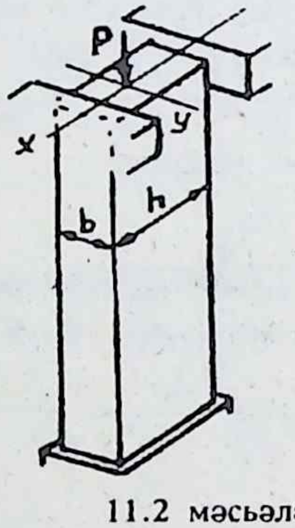
б) чыныктырылган корыч, $\sigma_п = 600\ МПа$, $E = 2 \cdot 10^5\ МПа$;

в) дюралюминий, $\sigma_п = 120\ МПа$, $E = 7 \cdot 10^4\ МПа$;

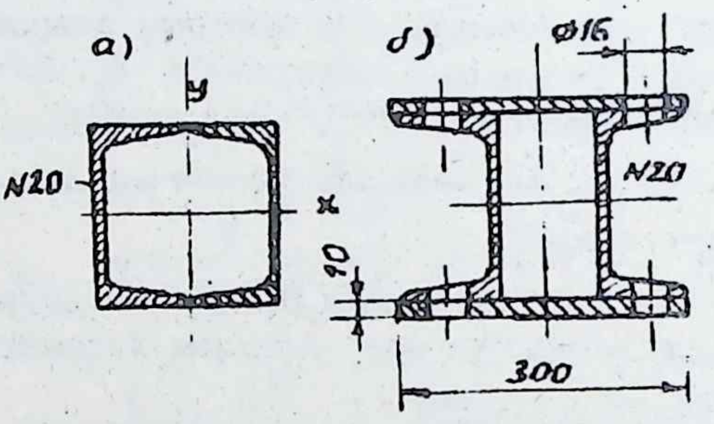
г) бронза, $\sigma_п = 80\ МПа$, $E = 10^5\ МПа$;

д) агач, $\sigma_п = 15\ МПа$, $E = 10^4\ МПа$.

11.2. Баганаҗның аркылы кисеме — турыпочмаклык. Аның аскы кисеме каты кысылган, өстәгесе x юнәлешендә иркен хәрәкәт итә ала, ә y юнәлешендә күчеше тыелган, ләкин x күчәре янында борылуы мөмкин. Ике (x һәм y) юнәлештә дә бөгелүчәнлеге бертигез булу шартыннан, b һәм h зурлыкларының чагыштырмасын табыгыз.



11.2 мәсьәләгә



11.7, 11.10 мәсьәләләргә

11.3. Ике бердәй буйлы һәм бер төрле беркетелгән таякның кисемнәре генә төрле: берсе квадрат, икенчесе — түгәрәк, мәйданнары бертигез. Аларның кайсысы бөгелүчәнрәк һәм күпмегә?

11.4. 20 нче номерлы икетамга кисемле багана (биеклеге 5 $м$) ике очыннан да шарнирлы беркетелгән. Аның өчен критик көч һәм критик көчәнешне табыгыз.

11.5. Ике очында да шарнир терәкле тимер таяк (озынлыгы 1 *м*, аркылы кисеме — 10 *мм* яклы квадрат) очларында куелган көчләр белән тотрыклылыгын югалтканчы кысылган, аның уртасындагы бөгелеше 10 *мм* тәшкил итә. Таякның куркынычлы кисемендәге иң зур нормаль көчәнешне табыгыз. Таяк тотрыклылыгын югалтмаган булса, шул ук көч тәэсиреннән барлыкка килгән көчәнеш күпме булыр иде?

11.6. Корыч таяклар өчен критик көчәнешләрне табыгыз; аларның бөгелүчәнлек зурлыклары λ бирелгән: 50, 75, 120. Материалның үзлекләре: $E = 2 \cdot 10^5$ *МПа*, $\sigma_п = 200$ *МПа*, Ясинский формуласындагы ($\sigma_{кр} = a - b\lambda$) коэффициентларның зурлыклары $a = 310$ *МПа*, $b = 1{,}2$ *МПа*.

11.7. Багана ике швеллердан эретеп ябыштырылган, ул ике очында да каты кысылган, озынлыгы 3 *м*. Тотрыклылык запасы коэффициентын $n = 3$ дип алып, кыса торган көчнең рөхсәт ителгән зурлыгын табыгыз.

11.8. 20 нче номерлы икетамгадан ясалган 4,5 *м* озынлыгындагы балканың бер очы каты кысылган, икенче очының беркетелү шартлары өч вариантлы:

а) каты кысылу;

б) аркылы күчешләр һәм борылышлар тыелган, ә буйга 2 мм га озынаю мөмкинлеге бар;

в) шарнирлы терәк белән стена арасына $\lambda = 2 \cdot 10^{-6}$ *мм/Н* эластиклыклы пружина куелган.

Балканың температурасын акрынлап күтәрәләр (башлангыч температурасы 20°). Күрсәтелгән өч вариантның һәрберсе өчен балканың бөгелә башлау температурасын табыгыз.

11.9. Тоташ түгәрәк аркылы кисемле бетон баганаPны бетон торбага ($c = d/D = 0{,}6$) алмаштырсак, ничә процент бетонны экономияли алырбыз?

11.10. Рәсемдә күрсәтелгән баганаың озынлыгы 4 *м*, бер очы каты кысылган, икенчесе шарнирлы терәлгән. Аңа $P = 1000$ *кН* көче куелган. Чыдамлык һәм тотрыклылык запасы коэффициентларын табыгыз. Материалның агучанлык чиге 240 *МПа*.

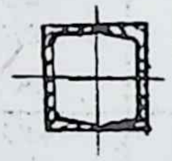
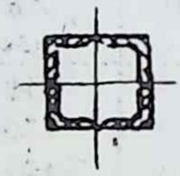
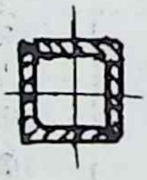
11.11. Ике очы да шарнирлы терәлгән корыч (Ст.3) торба (тышкы диаметры 200 *мм*, эчке диаметры 180 *мм*) өчен

критик һәм рөхсәт ителгән көч зурлыкларын табыгыз. Тотрыклылык запасы коэффициенты 1,8, торбаның озынлыгы 3 *м*.

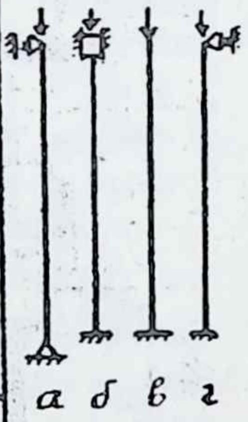
11.12. Ике очы да каты кысылган 20 нче номерлы икетамгадан ясалган багана өчен рөхсәт ителгән көчне табыгыз. Багананың биеклеге 3,4 *м*, исәпләү өчен φ коффициенты таблицасын кулланыгыз, $[\sigma] = 160$ *МПа*.

11.13. Агач баганаы (аркылы кисеме түгәрәк, $d = 20$ *см*, $l = 2{,}5$ *м*, $[\sigma] = 15$ *МПа* бер очы каты кысылган, икенчесе — иректе) нинди зурлыктагы көч белән йөкләп була?

11.14. Баганаың аркылы кисеме — квадрат, материалы — агач, $[\sigma] = 10$ *МПа*, аның бер очы шарнир терәкле, икенчесе каты кысылган, озынлыгы 3 *м*, өске очына $P = 60$ *кН* көч куелган; φ коэффициенты таблицасы ярдәмендә аркылы кисемнең зурлыгын табыгыз.

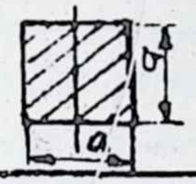
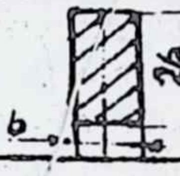
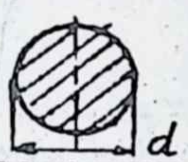
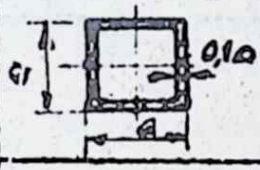
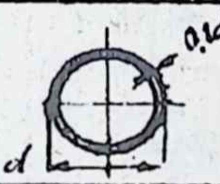
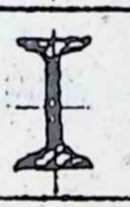
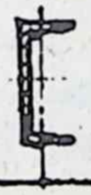
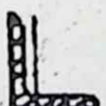
№	Аркылы кисем	Беркетелү схемасы	Профиль номеры	Баганаың буе, м
1		а	20	4
		б	12	3,5
		в	16	2
		г	10	3,5
2		а	16	4
		б	18	3,5
		в	20	3
		г	30	4
3		а	8 (8)	2,5
		б	12,5 (10)	3,5
		в	6,3 (5)	2,4
		г	7 (6)	3
4		а	10 (10)	3
		б	16 (10)	4
		в	14 (12)	4
		г	11 (7)	3

Беркетелү схемалары



11:15 мәсьәләгә

11.15. Таблицада китерелгән стандартлы прокаттан эретеп ябыштырылган баганалар өчен рөхсәт ителгән кысу көчен табыгыз; материал — Ст.3 маркалы корыч, $[\sigma] = 160$ *МПа.*

№	Аркылы кисем	Материал	Схема	Буй, м	Кысу көче, кН
1		Агач	а	3	50
			б	2,5	40
			в	2,5	60
			г	3	70
2		Агач	а	2,5	75
			б	2,5	60
			в	2	50
			г	3	40
3		Агач	а	3	35
			б	4	45
			в	2	50
			г	4	60
4		Корыч	а	3	200
			б	4	300
			в	1,5	100
			г	4	150
5		Корыч	а	3	400
			б	4	500
			в	2	600
			г	4	700
6		Корыч	а	3	100
			б	4	150
			в	1,5	200
			г	6	400
7		Корыч	а	2	50
			б	3	120
			в	1,5	180
			г	5	200
8		Корыч	а	2	50
			б	2,5	70
			в	1,5	90
			г	2	100

11.6 мәсьәләгә

11.16. Таблицада китерелгән баганаларның аркылы кисемнәре зурлыкларын табыгыз. Агачның рөхсәт ителгән көчәнеше $[\sigma] = 10\ МПа$, корычныкы (Ст.3) $[\sigma] = 160\ МПа$.

Баганаларның очларын беркетү схемалары:

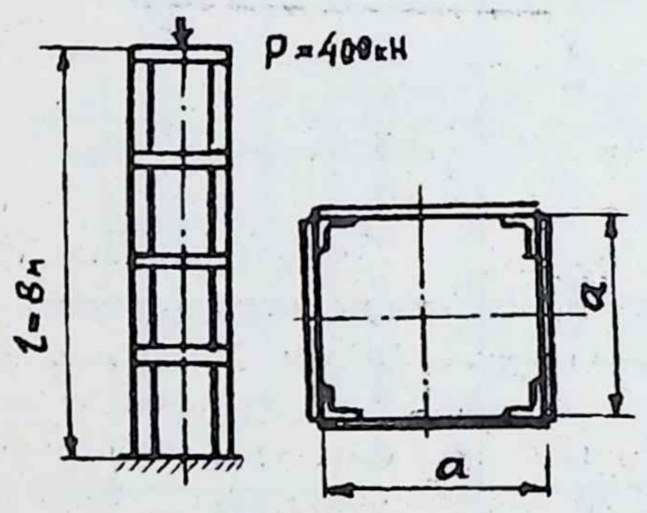
а) икесе дә шарнирлы терәлгән,

б) икесе дә каты кысылган,

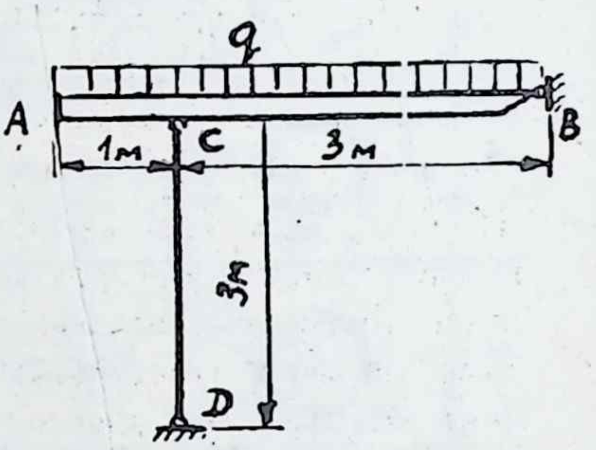
в) берсе иркле, икенчесе каты кысылган,

г) берсе шарнирлы терәлгән, икенчесе каты кысылган.

11.17. Багана тигезьяклы 7(7) номерлы почмаклардан эретеп ябыштырылган. Рөхсәт ителгән көчәнеш $[\sigma] = 160\ МПа$. Чыдамлык һәм тотрыклылык шартларын канәгатьләндереп, аның аркылы кисеме зурлыгын (a) һәм аркылы борыслар санын табыгыз.



11.17 мәсьәләгә

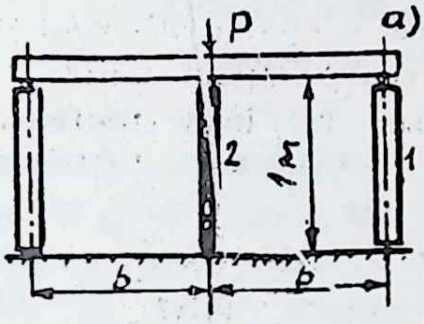


11.19 мәсьәләгә

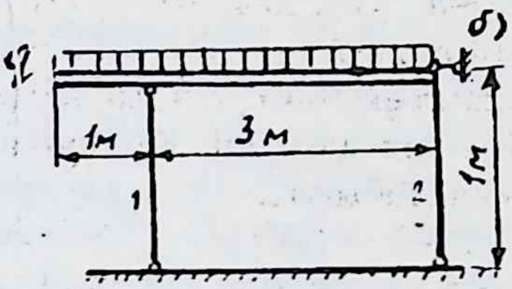
11.18. Алдагы мәсьәләдәге кебек, $P = 800\ кН$, $L = 15\ м$ биеклектәге багана проектлаштырыгыз. Аркылы кисем шулай ук дүрт тигезьяклы почмактан тора, ләкин бу юлы аларның номерын үзегез сайлап алыгыз.

11.19. AB дип билгеләнгән каты борыска таралган көч куелган, аның интенсивлыгы $q = 10\ кН/м$. CD дип билгеләнгән терәк агачтан ясалган, $[\sigma] = 10\ МПа$, аркылы кисеме түгәрәк, аның диаметрын табыгыз.

11.20. Өч таякка каты борыс аша кыса торган P көче тәэсир итә. Аларның аркылы кисемнәре квадрат формасында: кырыйдагы таякларныкы 2x2 см лы, уртадагысыныкы 1,5x1,5 см лы, материаллары — корыч (Ст.3). Көчнең зурлыгы, нульдән башлап, акрынлап үсә бара. Шул үсә барган көч таяклар арасында ничек бүленә? Таякларда алар тотрыклылыкларын югалтканчы булган нормаль көчләрне график төзеп тикшерегез.



11.20 мәсьәләгә



11.21 мәсьәләгә

11.21. Ике таяк өстенә куелган балка — 20 нче номерлы икетамга, таяклар түгәрәк кисемле корычтан ясалган, беренчесенең диаметры 20 *мм*, икенчесенеке 16 *мм*. Йөкнең q дип билгеләнгән интенсивлыгы нульдән башлап үсә. Системаны чикләмә халәткә китерә торган йөк интенсивлыгын табыгыз. Бирелгән системаның барлык өлешләре Ст.3 маркалы корычтан ясалган, $\sigma_т = 240$ *МПа*.

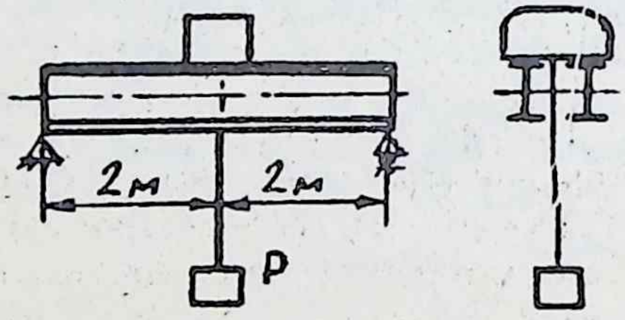
12. Динамика мәсьәләләре

12.1. Шахта лифты тимер бавының аркылы кисеме $6\ см^2$, озынлыгы 100 *м*, ул $5\ м/с^2$ тизләнеш белән 4 т массалы йөкне күтәрә башлый, трос материалының тыгызлыгы $7\ г/см^3$. Тростагы нормаль көчәнешне ике варкантта исәпләп билгеләгез:

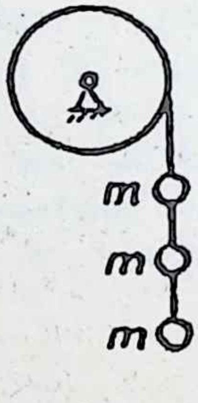
1) тросның үз авырлыгын исәпкә алмыйча,

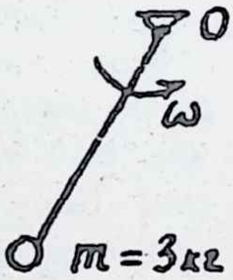
2) тросның үз авырлыгын исәпкә алып.

12.2. Балканың өстенә куелган 1 т массалы чыгыр (лебедка) 5 т массалы йөк күтәрә. Хәрәкәтнең башында $4\ м/с^2$ тизләнеш күзәтелә. Тросның һәм балканың үз авырлыгын исәпкә алмыйча, тросның диаметрын һәм икетамгаларның номерын табыгыз. Трос материалы өчен $[\sigma] = 300\ МПа$, балканыкы өчен — $[\sigma] = 160\ МПа$. Табылган балканың үз авырлыгын исәпкә алсак, андагы максималь көчәнеш күпмегә (ничә процентка) арта?



12.2 мәсьәләгә



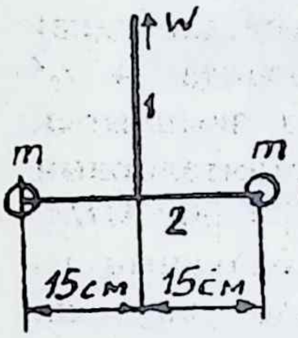


12.3 мәсьәләгә 12.4 мәсьәләгә

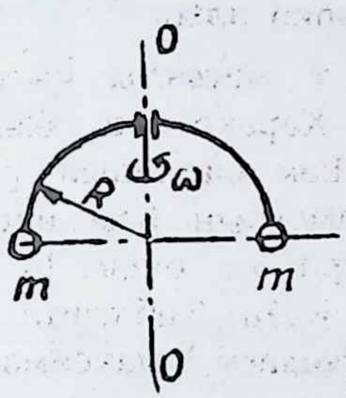
12.3. Чыгыр барабанына уралган 1 *мм* диаметрлы троска ($\sigma_в = 1200\ МПа$) өч шар эленгән, аларның массалары унар килограмм. Шарлар, 5 секундта ирекле рәвештә түбән төшкәннән соң, барабанны бик тиз — 2 секунд эчендә — тигез халәттә туктаталар. Тростагы көчәнешләрне табыгыз һәм эпюрын төзегез. Тросның өзелү ихтималы бармы? Барабанның инерциясен исәпкә алмагыз.

12.4. 10 *мм* диаметрлы, 1 *м* буйлы тимер таяк *O* ноктасы (күчәре) янында тигез әйләнә, әйләнү тизлеге ω. Нинди тизлек белән әйләнгәндә таяк өзелә? Тимернең тыгызлыгы 7,85 $^{г}/_{см^3}$, чыдамлык чиге 400 *МПа.*

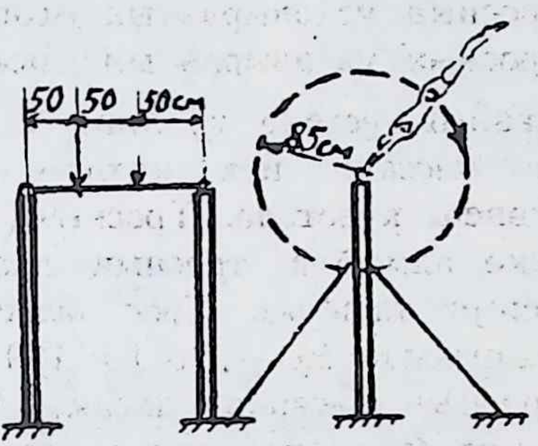
12.5. Ике масса ($m = 3$ *кг*), тигез тизләнешле хәрәкәт итеп, беренче 2 секунд эчендә 10 метрга күтәрелә. Тимерчыбыкның диаметры 1 *мм*, аркылы борысның кисеме — квадрат, аның ягы 1 *см.* Трос һәм аркылы борыстагы максималь нормаль көчәнешне табыгыз.



12.5 мәсьәләгә



12.6 мәсьәләгә



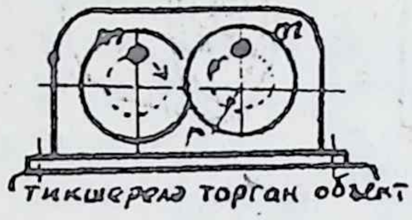
12.7 мәсьәләгә

12.6. Ярымбоҗраның ($R = 20$ *см*, аркылы кисеме — 1x1 *см* квадрат) очларына ике бишәр килограммлы масса беркетелгән, өстәге кисемнең (*O*) көчеше дә, борылу почмагы да нульгә тигез. Система хәрәкәтсез чакта массалар беркетелгән кисемнәрнең горизонталь көчешен табыгыз. Шул көчешне юкка чыгару өчен, борыс нинди тизлектә әйләнеп торырга тиеш? Соңгы сорауга җавап бирү өчен, массалар зурлыгын һәм борысның бөгү катылыгын белергә кирәкме?

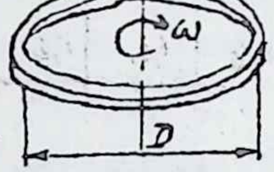
12.7. Гимнаст турникта әйләнә, аның массасы 60 *кг*, иң өстәге торышта аның тизлеге нульгә тигез. Аркылы таякның (кисеме түгәрәк) диаметрын табыгыз, $[\sigma] = 100$ *МПа*, аның максималь бөгелешен исәпләп билгеләгез.

12.8 Конструкцияләрнең тирбәнүен тәҗрибәдә өйрәнгәндә вибраторлар кулланыла. Вибраторның төзелеше рәсемнән

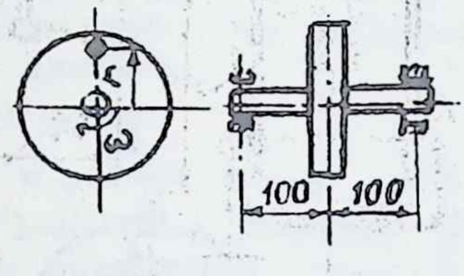
аңлашыла. Ул ике бердәй капма-каршы бер тизлек белән әйләнә торган тешле тәгәрмәчтән тора. Тәгәрмәчләрнең икесенә дә дисбаланс куелган, дисбалансның массасы $m = 100$ *г*, радиусы $r = 100$ *мм* булсын, әйләнү тизлеге $n = 12000$ *әйл/мин*. Шул вибраторны конструкциягә беркетә торган болтларының (саны дүрт) диаметрын табыгыз, $[\sigma\ ] = 50$ *МПа*.



12.8 мәсьәләгә



12.9 мәсьәләгә



12.10 мәсьәләгә

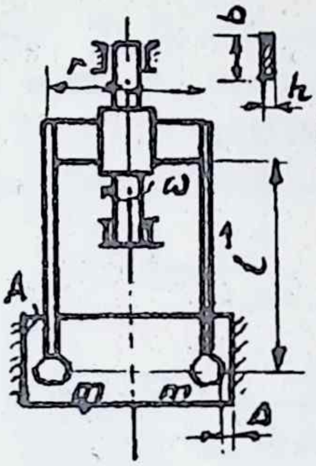
12.9. Квадрат формасындагы аркылы кисемле бoҗра вертикаль күчәр янында ω тизлеге белән әйләнеп тора. Квадратның ягы 2 *см*, боҗраның уртача диаметры 80 *см*, материалы — корыч, $\rho = 7{,}85$ *г/см*^{3} , $[\sigma\ ] = 150$ *МПа*, $n = 2400$ *әйл/мин*. Боҗраның чыдамлык шартын тикшерегез, чикләмә тизлекне табыгыз (*м/с*). Ул кисем зурлыкларына бәйлеме?

12.10. Вибраторның тешле тәгәрмәче минутына 12000 әйләнеш ясый. Дисбалансның массасы 50 *г*, радиусы 5 *см*. Тәгәрмәч валының материалы — корыч, $[\sigma] = 100$ *МПа*, аның диаметрын табыгыз.

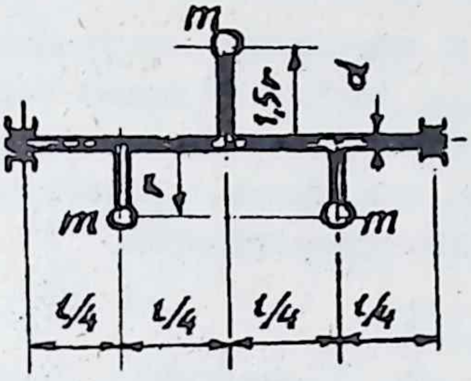
12.11. Регуляторның төзелеше һәм эшләве рәсемнән аңлашыла. Әйләнеш тизлеге арткач, m массаларына тәэсир иткән үзәктән куу көчләреннән пружиналар (1) бөгелә һәм шарлар, цилиндр сыман А өслегенә тиеп, ышкыла башлый һәм системаның әйләнү тизлеген киметә. Бу регулятор тәэмин итә торган $m = 1$ *кг*, $b = 5$ *см*, $h = 5$ *мм*, $l = 30$ *мм*, $r = 10$ *мм*, $E = 2 \cdot 10^5$ *МПа* , $\Delta = 2$ *мм* булгандагы почмакча тизлекне табыгыз. Пружинаның үз массасын һәм r үзгәрүен исәпкә алмаска.

12.12. Валга, рәсемдә күрсәтелгәнчә, өч масса беркетелгән, валның материалы — корыч, $[\sigma\ ] = 200$ *МПа*. Ул $n = 1000$ *әйл/мин*

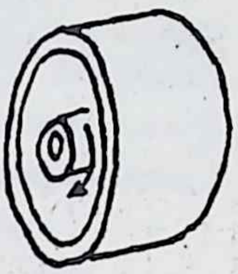
тизлеге белән әйләнеп тора. Чыдамлык шартыннан валның $m = 10$ *кг*, $l = 2$ *м*, $r = 30$ *см* булгандагы диаметрын табыгыз. Валның һәм таякларның үз массаларын исәпкә алмаска.



12.11 мәсьәләгә



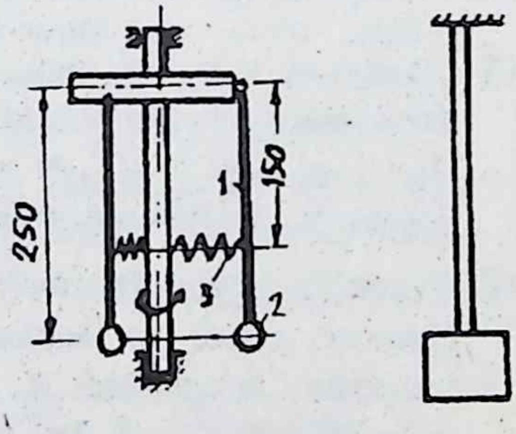
12.12 мәсьәләгә



12.13 мәсьәләгә

12.13. Нечкә ҡигәйле маховикларны юка боҗра схемасына китереп исәплиләр. Аларны исәпләгәндә, маховикларның сызыкча тизлеген чиклиләр. Корычтан ясалган маховикның рөхсәт ителгән тизлеге ($м/с$) зурлыгын табыгыз, $[\sigma] = 160$ *МПа*, $\rho = 7{,}85\ г/см^3$.

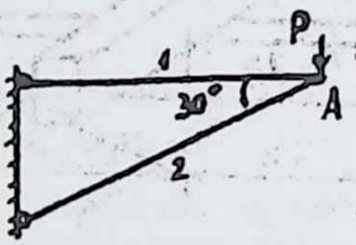
12.14. Рәсемдә регулятор күрсәтелгән, 1 дип билгеләнгән өч таяк — алар каты борыс дип санала — өске очлары белән шарнирлы беркетелгән, аскы очларында тупланган массалары (m) бар. Таяклар винт сыман пружиналар (3) аша вал белән тоташтырылган. Массаларның радиаль күчеше 1 *мм* булса, бу регулятор, $m = 1$ *кг*, пружиналарның уртача диаметры $D = 30$ *мм*, тимерчыбык диаметры 3 *мм*, борма саны 5 булганда, әйләнүнең нинди тизлеген тәэмин итә? Рәсемдәге зурлыклар миллиметрларда күрсәтелгән. Пружиналар һәм таякларның үз массаларын исәпкә алмаска.



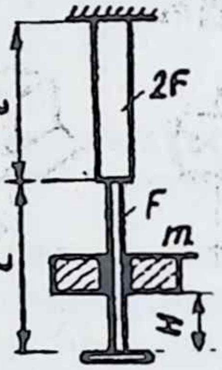
12.14, 12.15 мәсьәләләргә

12.15. Түгәрәк кисемле диаметры 10 *мм,* *1 м* озынлыгындагы таякның очына кинәт кенә $P = 15\ кН$ зурлыгындагы көч куела. Аның аркылы кисемендәге нормаль көчәнешен һәм озынаюын табыгыз, материалы — корыч.

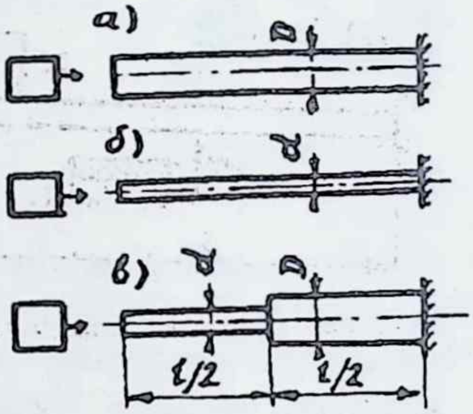
12.16. Кронштейнның *А* ноктасында кинәт кенә $P = 30\ кН$ көче куела, кронштейнның тәҗесе (түгәрәк) корычтан, авынкы терәге (квадрат) агачтан ясалган, $[\sigma]_1 = 160\ МПа$, $[\sigma] = 10\ МПа$. Чыдамлык шартыннан чыгып, кронштейн элементларының аркылы кисем зурлыкларын табыгыз.



12.16 мәсьәләгә



12.17 мәсьәләгә



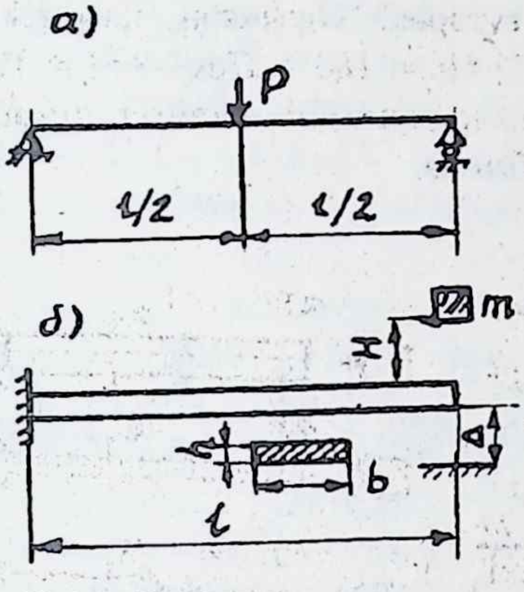
12.18 мәсьәләгә

12.17. Таякның аскы очына, *Н* биеклегеннән төшеп, *m* зурлыгындагы масса бәрә. Таякның аркылы кисемендә килеп чыккан ($l = 1\ м$, $F = 2\ см^2$, $m = 400\ кг$, $H = 6\ мм$, $E = 2 \cdot 10^5\ МПа$) нормаль көчәнешне табыгыз.

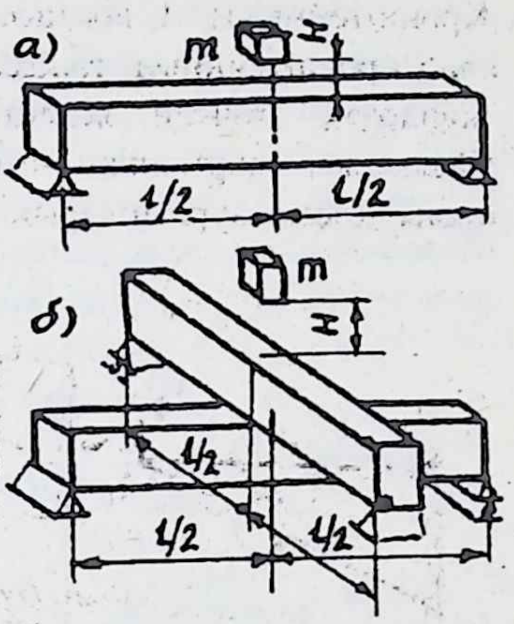
12.18. Рәсемдә күрсәтелгән таякларның бер очы беркетелгән. Ирекле очын *m* массасы бәрә, бәрелеш вакытында аның кинетик энергиясе *K*. Шушы таякларның кисемнәрендәге $m = 200\ кг$, $K = 2$ Дж, $l = 0{,}5\ м$, $D = 20\ мм$, $d = 15\ мм$, материалы корыч булгандагы максималь нормаль көчәнешләрне билгеләгез һәм чагыштырыгыз.

12.19. Балканың уртасына кинәт кенә $P = 200\ кН$ зурлыгындагы көч куела. Балканың аркылы кисеме — 20 нче номерлы икетамга, озынлыгы 3 *м*, $[\sigma] = 160\ МПа$, $E = 2 \cdot 10^5\ МПа$. Максималь көчәнеш һәм бөгелешнең зурлыкларын табыгыз.

12.20. Балканың очына, H биеклегеннән төшеп, m массалы җисем бәрә. Балканың очы A өслегенә тию шартыннан чыгып, H зурлыгын табыгыз. Бирелгән зурлыклар: $l = 20$ *см*, $b = 3$ *см*, $h = 1$ *см*, $E = 2\cdot 10^5$ *МПа*, $m = 50$ *кг*, $\Delta = 10$ *мм*.



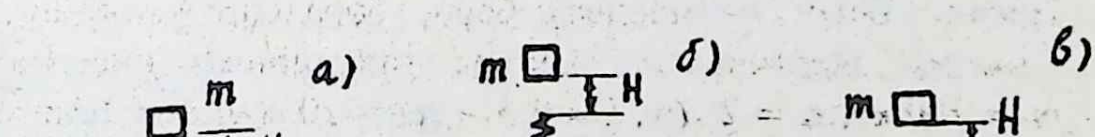
12.19, 12.20 мәсьәләләргә



12.21 мәсьәләгә

12.21. Балканың уртасына, бик зур биеклектән төшеп, авыр җисем бәрә (а). Балканың чыдамлыгы җитмәячәген исәпкә алып, аның өстенә аркылыга шундый ук балка куелган (б). Бу чара балкадагы максималь көчәнешне ничә тапкырга киметә? Системаның симметрик булуын исәпкә алыгыз.

12.22. Рәсемдә күрсәтелгән бәрелешне йомшартыр өчен пружина куллану очракларының (*в* очрагында пружина икегә бүленгән) кайсысы уңышлырак? Йөк зур биеклектән төшә.

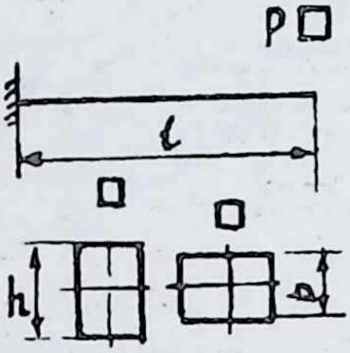


12.22 мәсьәләгә

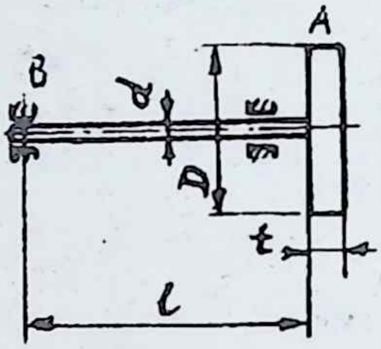
12.23. Аркылы кисеме турыпочмаклык булган балканың очына P авырлыктагы җисем төшә. Масса төшә торган биеклек бик

зур. Балканың ике төрле торышындагы максималь көчәнешен табыгыз һәм чагыштырыгыз.

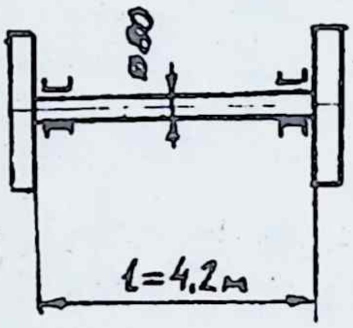
12.24. Валга утыртып куелган корыч маховик A тигез әйләнеш хәрәкәтендә. Маховикның (ул тоташ түгәрәк талинкә формасында) диаметры $D = 70$ *см*, калынлыгы $t = 10$ *мм*. Билгеле бер вакытта маховик B кисемендәге тормоз белән кинәт туктатыла. Валның диаметры $d = 60$ *мм*. Чыдамлык шартыннан чыгып, валның почмакча тизлеген табыгыз (n, әйл/мин). Корычның тыгызлыгы 7,85 г/см^3, $l = 1{,}5$ *м*, $[\tau] = 100$ *МПа*. Маховикның инерция моментын түбәндәге формуладан исәпләргә: $I^m = \pi D^4 t\rho / 32$.



12.23 мәсьәләгә



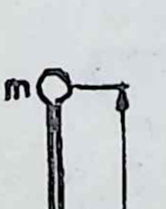
12.24 мәсьәләгә



12.25 мәсьәләгә

12.25. Ике бердәй маховик бар. Аларның берсе валга каты итеп утыртып куелган, ә икенчесе ирекле рәвештә әйләнеп тора, $n = 45$ әйл/мин. Бер вакыт ул кинәт кенә вал белән тоташтырыла һәм бөтен системаны әйләндерә башлый. Маховикларның инерция моменты $I_m = 400$ *кгм*^{2}, валның диаметры $d = 100$ *мм*. Валның аркылы кисемендәге максималь орынма көчәнешне табыгыз.

12.26. Идән тактасына 2 *м* биеклектән кеше сикереп төшсә, ул такта түзәрме? Кешенең массасы 70 *кг*, тактаның озынлыгы (терәкләр арасы да) 4 *м*, иңе 25 *см*, калынлыгы 50 *мм*, материалның рөхсәт ителгән көчәнеше $[\sigma] = 10$ *МПа*.

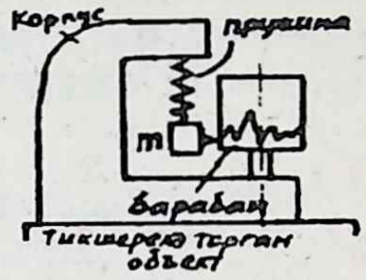


12.27 мәсьәләгә

12.27. Таякның үз авырлыгын исәпкә алмыйча, аның үзьешлыгын (бөгелү тирбәнүе) табыгыз; $m = 10$ *кг*, $l = 1$ *м*, таякның аркылы кисеме түгәрәк, диаметры $d = 10$ *мм*, материалы корыч.

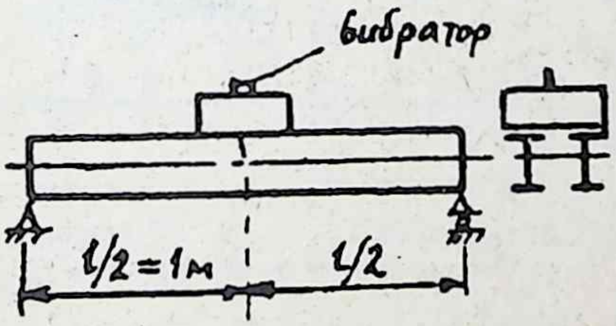
12.28. Пружинада эленеп торган массаның үзьешлыгын табыгыз. Масса $m = 20$ *кг* пружинаның уртача диаметры $D = 50$ *мм*, тимерчыбыкның диаметры $d = 4$ *мм*, борма саны 10. Материалы — корыч, $E = 2 \cdot 10^5$ *МПа*.

12.29. Рәсемдә гади виброметр схемасы күрсәтелгән. Пружинаның ($d = 2$ *мм*, $n = 20$) ирекле очына 5 *кг* зурлыгындагы масса эленеп куелган. Шул массага беркетелгән карандаш тигез әйләнеп торган барабанга тия һәм, тикшерелә торган объект вертикаль юнәлештә тирбәнгән чакта, тирбәнү амплитудасын язып бара. Пружина бик нечкә булганда, масса бер урында кала дип була. Тирбәнүнең басылуын исәпкә алмыйча, пружинаның уртача диаметрын (D) исәпләп билгеләгез. Төп шарт — виброметр 20 *Гц* тан зуррак ешлыклы тирбәнүне үлчәргә яраклы булсын (рөхсәт ителгән төгәлсезлекнең зурлыгы 2 процент).

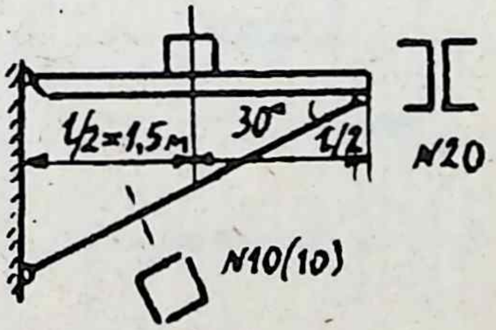


12.29 мәсьәләгә

12.30. Икетамга профильле (20 нче) балкалар өстенә 5 *кН* авырлыгындагы машина куелган. Бу корылманың вибрациясен тәҗрибәдә өйрәнү өчен, машина өстенә вертикаль юнәлештә тирбәтә торган вибратор урнаштырылган (12.8 мәсьәләне карагыз). Вибратор 1850 *әйл/мин* тизлегендә әйләнеп торганда, балкалардагы максималь нормаль көчәнешне билгеләгез. Балкаларның үз массасын исәпкә алмаска.



12.30 мәсьәләгә

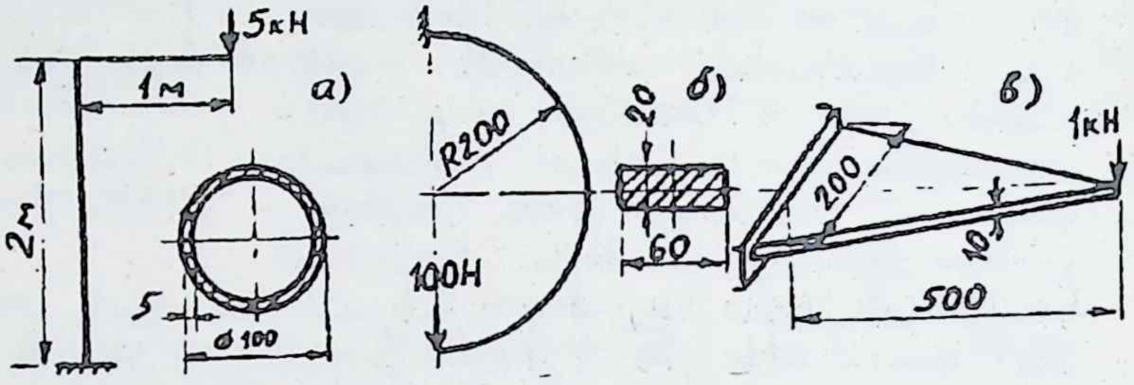


12.31 мәсьәләгә

12.31. Ике 20 нче номерлы швеллердан ясалган балканың уртасына электр моторы куелган. Балканың уң очын терап торган стерженьнең аркылы киселеме — ике 10(10) номерлы

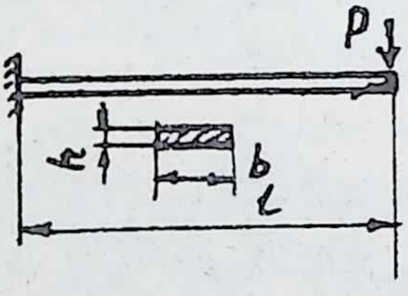
тигезъяклы почмак. Электр моторының валы $n = 750$ *әйл/мин* тизлеге белән әйләнеп тора. Аның 2 *кгсм* зурлыгындагы дисбалансы бар. Балка һәм терәктә тирбәнүдән килеп чыккан максималь нормаль көчәнешләрне табыгыз.

12.32. Рәсемдә күрсәтелгән системаларның үзьешлыкларын табыгыз. Материалы — корыч.

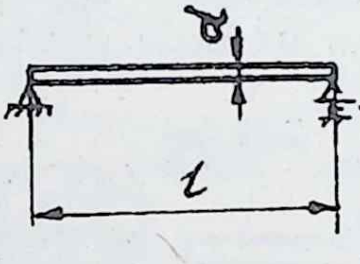


12.32 мәсьәләгә

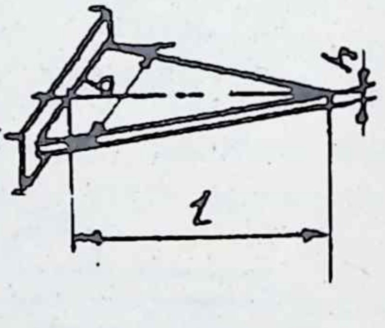
12.33. Рәсемдә күрсәтелгән балканың үзьешлыгын табыгыз. Балканың үз массасын да исәпкә алыгыз. Табылган формуланы тикшереп, балканың үз массасын исәпкә алмауның чиген билгеләгез.



12.33 мәсьәләгә



12.34 мәсьәләгә



12.35 мәсьәләгә

12.34. Балканың үзьешлыгын табыгыз.

12.35. Тигез каршылыклы балканың үзьешлыгын табыгыз.

13. Аруны исәпләү

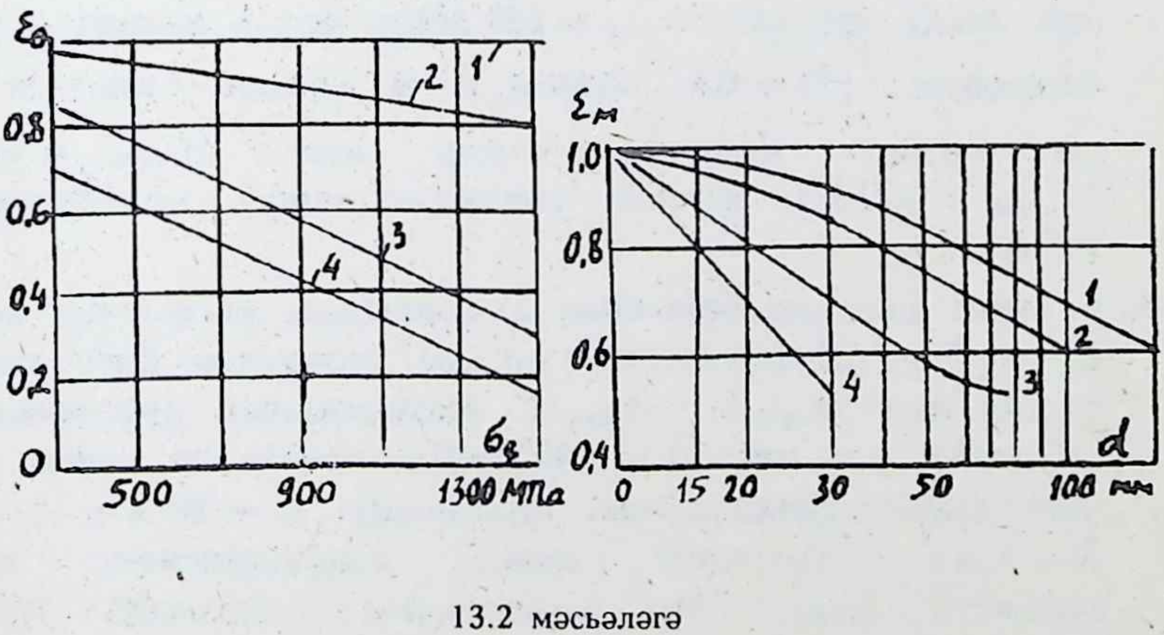
13.1. Материалның чыдамлык чиге $\sigma_в = 650$ *МПа*, циклның асимметрик коэффициенты $r = 0{,}3$, симметрик цикл өчен ару чиге $\sigma_{-1} = 280$ *МПа*. Бирелгән цикл өчен ару чиген исәпләп табыгыз.

13.2. Рәсемдә масштаб (*а*) һәм деталь өслеге чисталыгы (*б*) коэффициентлары китерелгән.

Сул графиктагы билгеләр:
1 – деталь ялтыраганчы шомартылган,
2 – деталь кырып шомартылган,
3 – эшкәртелмәгән прокат өслеге,
4 – суда күгәргән өслек.

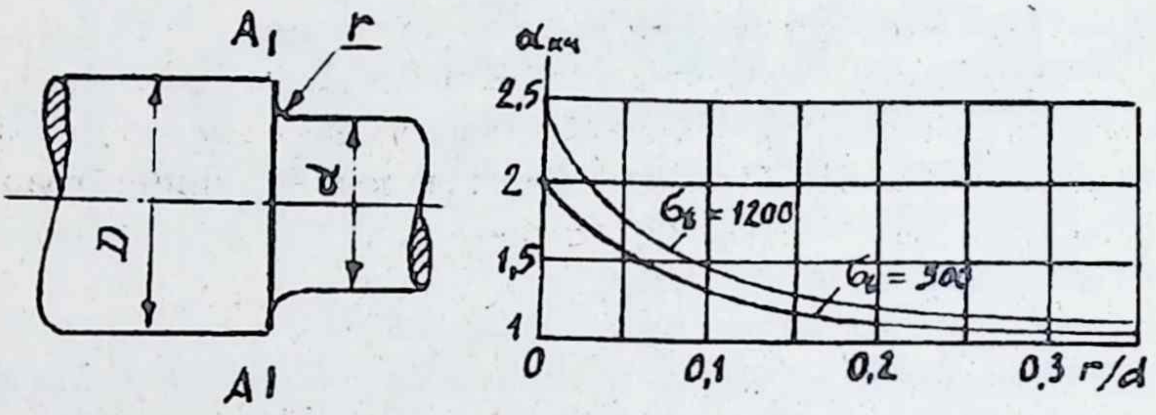
Уң графиктагы билгеләр:
1 – углеродлы корыч ($\sigma_в \leq 1000$ *МПа*),
2 – кушылма корыч $\sigma_в > 1000$ *МПа*, җиңелчә концентрация,
3,4 – шул ук корыч, уртача һәм көчле концентрация.

Графикларны кулланып, чыдамлык чиге $\sigma_в = 1000$ *МПа* булган корычтан ясалган 50 *мм* диаметрлы валның ару чиген табыгыз. Детальнең өслеге ялтыраганчы шомартылган.



13.2 мәсьәләгә

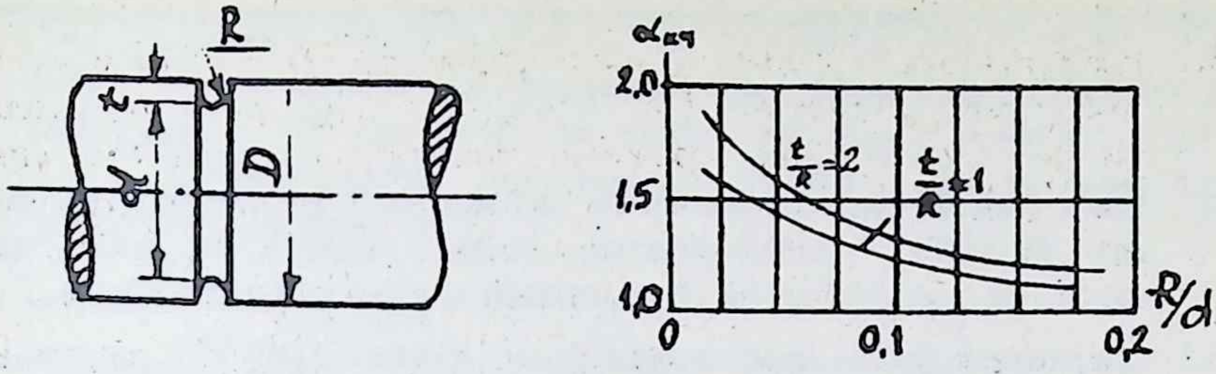
13.3. Рессор пружинасының уртача диаметры $D = 150$ *мм*, тимерчыбыкның диаметры $d = 12$ *мм*, бормалар саны 6. Өлешенә тигән йөкләнештән пружина цикллап кыскара: максималь кыскаруы 60 *мм*, минималь кыскаруы 15 *мм*, материалның ару чиге $\tau_{-1к} = 300$ *МПа*, чыдамлык чиге $\sigma_в = 1200$ *МПа*; $\varepsilon_м$ һәм ε_θ коэффициентлары зурлыкларын 13.2 нче мәсьәләгә бирелгән рәсемнән алырга; $\frac{\tau_{-1к}}{\tau_в} = 0,4$. Чыдамлык запасы коэффициентын табыгыз.



13.4 мәсьәләгә

13.4. Валның бер кисемендә диаметры кинәт кенә үзгәрә: $D = 50$ *мм*, $d = 25$ *мм*, материалның чыдамлык чиге 1000 *МПа*, ару чиге $\tau_{-1к} = 250$ *МПа*, өслеге ялтыраганчы шомартылган, $\frac{\tau_{-1}}{\tau_в} = 0,4$. Валның $A-A$ аркылы кисемендә цикллы бөтерү моменты тәэсир итә: $M_{к\,max} = 400$ *Нм*, $M_{к\,min} = 100$ *Нм*. Валның чыдамлык запасы коэффициентын табыгыз.

13.5. Түгәрәк кисемле балканың куркынычлы кисемендә кечкенә канау бар. Шул кисемдә цикллы үзгәрүчән бөгү моменты тәэсир итә: $M_{min} = -M_{max}/6$. Материалның чыдамлык чиге 800 *МПа*, ару чиге $\sigma_{-1и} = 400$ *МПа*, детальнең өслеге нәфис итеп кырып шомартылган, зурлыклары $D = 50$ *мм*, $t = 2$ *мм*, $R = 1$ *мм*. Чыдамлык запасы коэффициентын $n = 2,5$ зурлыкта алып, бөгү моментының максималь зурлыгын табыгыз.



13.5 мәсьәләгә

13.6. 13.4 нче мәсьәләдә күрсәтелгән валның A–A кисемендә циклы бөгү моменты да бар: $M_{max} = 300$ *Нм*, $M_{min} = 0$, материалның $\sigma_{-1u} = 450$ *МПа*; чыдамлык запасы коэффициентын табыгыз. Нормаль көчәнешләрнең концентрация коэффициентын рәсемдәге графиктан алыгыз.

13.7. Уртача диаметры $D = 100$ *мм*, тимерчыбыгы диаметры $d = 15$ *мм*, 10 бормалы пружина өстенә $m = 200$ *кг* массалы йөк куелган. Ул массага синусоидаль закон буенча үзгәрә торган көч тәэсир итә, аның амплитудасы 60 *Н*, ешлыгы 2,4 *Гц*. Материалның кирәкле үзлекләрен 13.3 нче мәсьәләдәгеләргә туры китереп, чыдамлык запасы коэффициентын табыгыз.

14. Юка тышчаларны исәпләү

14.1. Шар сыман газ баллонының диаметры 1 *м*, эчтәге газ басымы 20 *МПа*, материалының рөхсәт ителгән нормаль көчәнеше $[\sigma] = 200$ *МПа*. Баллонның калынлыгын табыгыз.

14.2. Цилиндр сыман пар казанының диаметры 3 *м*, материалының (аз углеродлы яхшы эретеп ябыштырыла торган корыч) рөхсәт ителгән көчәнеше $[\sigma] = 100$ *МПа*, эчке пар басымы $p = 1{,}5$ *МПа*. Өченче чыдамлык теориясен кулланып, казанның калынлыгын табыгыз. Дүртенче теория буенча исәпләгәндә, әле табылган калынлыктагы казан өчен басымның куркынычсыз зурлыгы нинди булыр иде?

14.3. Вертикаль 100 *м* биеклегендәге су үткәргеч торбаның диаметры 1200 *мм*, калынлыгы 20 *мм*, материалының (чуен) рөхсәт ителгән сузу көчәнеше 40 *МПа*. Чыдамлык шартын тикшерегез.

14.4. Цилиндр сыман тышчаның диаметры 1000 *мм*, калынлыгы 5 *мм*, Материалы — корыч, $[\sigma] = 160$ *МПа*. Рөхсәт ителгән эчке басымны табыгыз. Тышчаның диаметры һәм озынлыгы үзгәрүен исәпләп билгеләгез. (Аерым әйтелгән булмаса, бу һәм бүтән мәсьәләләрдә чыдамлыкны III теория буенча исәпләгез.)

14.5. 10 *м* биеклегендәге цилиндр сыман савытка су тутырылган. Савытның диаметры 2 *м*, материалы — полиэтилен, $[\sigma] = 5$ *МПа*. Аның калынлыгын табыгыз.

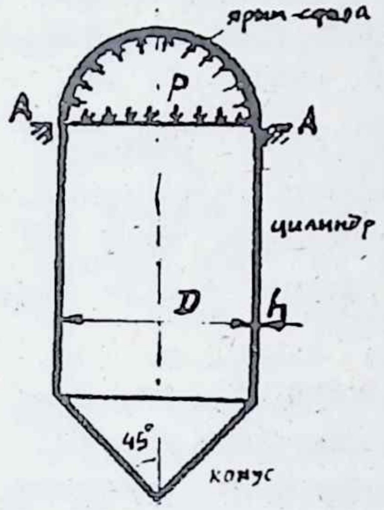
Ике очракны күзәтергә:

1) савыт идәндә тора;

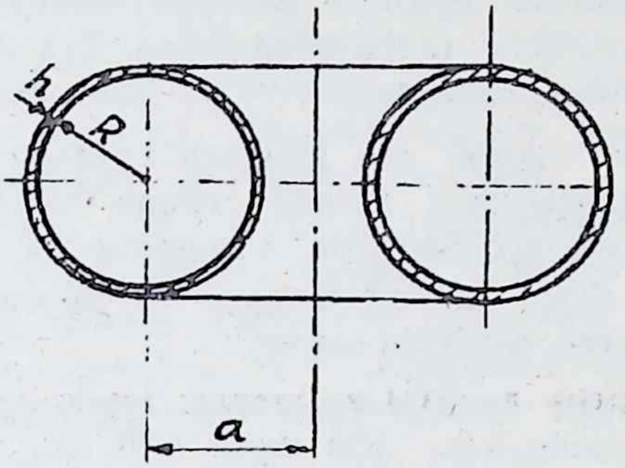
2) савыт өске кисемендә эленеп тора. Икенче очракта IV теорияне кулланыгыз. Төпнең тәэсирен исәпкә алмагыз.

14.6. Рәсемдә күрсәтелгән савытка $\rho = 1{,}5\ ^{г}/_{см^3}$ тыгызлыгындагы сыекча тутырылган. Сыекча өстендә пар басымы да бар, $p = 0{,}1$ *МПа*, савытның диаметры 4 *м*, цилиндр сыман өлешенең биеклеге 5 *м*. Савытны тәшкил иткән тышчаларның калынлыкларын табыгыз, $[\sigma] = 100$ *МПа*. Савыт $A-A$ кисемендә эленеп тора.

14.7. Газ баллоны (температура $20^{\circ} C$ булганда, эчке басым 1,6 МПа) ачык һавада саклана. Бер ел дәвамында һава температурасы -50° тан $+40^{\circ}$ ка кадәр үзгәрергә мөмкин. Баллон материалындагы көчәнешләрнең шуңа бәйле рәвештә үзгәрүен күрсәтегез.



14.6 мәсьәләгә



14.9 мәсьәләгә

14.8. Шар сыман баллонның диаметры 0,8 *м*, калынлыгы 1 *мм*, материалының агучанлык чиге 300 *МПа*, чыдамлык запасы коэффициенты $n = 3$. Бу баллонга күпме азот тутырып була (массасын табыгыз)?

14.9. Тор сыман тышчадагы максималь эквивалентлы ($\sigma_{экв}^{III}$) көчәнешне табыгыз. Тышча эчендәге газ басымы p, зурлыклары рәсемдә күрсәтелгән.

14.10. Шар сыман баллонны ($D = 1$ *м*, $h = 1$ *мм*) газ белән тутыргач ($p = 0{,}2$ *МПа*), очкычның герметиклаштырылмаган бүлегенә куйганнар һәм очкыч зур биеклеккә күтәрелгән, ул биеклектә атмосфера басымы җир өстендәге басымның 5 процентын гына тәшкил итә. Баллондагы көчәнешләрне ике очрак өчен (җир өслегендә һәм биеклектә) табып чагыштырыгыз.

15. Калын стеналы цилиндрлар

15.1. Торбаның эчке диаметры 100 *мм,* тышкысы 200 *мм.* Материалының рөхсәт ителгән көчәнеше $[\sigma] = 200$ *МПа.* Эчке басымны күпмегә кадәр күтәрергә ярый? III теория буенча исәпләргә (аерым әйтелгән булмаса, бүтән мәсьәләләрдә дә шулай эшләргә).

15.2. Ике башы да ябылган калын стеналы цилиндр 2 км тирәнлектәге диңгез төбенә төшерелгән. Цилиндрның эчке диаметры 300 *мм.* Материалның агучанлык чиге 400 *МПа,* ә запас коэффициенты 2 булса, аның тышкы диаметры күпме булырга тиеш?

15.3. Калын торба ике стена арасында каты беркетелгән, аның диаметрлары 100 һәм 150 *мм*, эчке басымы 100 *МПа.* Энергетик теория буенча максималь эквивалентлы көчәнешне табыгыз, $\mu = 0{,}25$.

15.4. 60 *мм* диаметрлы валга көпшә (муфта) киереп кидерелгән. Көпшәнең эчке диаметры 59,8 *мм*, тышкысы 100 *мм*, вал да, көпшә дә бердәй буйлы һәм корычтан ясалган. Шушы киереп җыелган система өчен:

а) вал белән көпшә арасындагы контакт басымын,

б) көпшәдәге максималь эквивалентлы көчәнешне,

в) валдагы көчәнешләрне табыгыз.

15.5. Эчке диаметры 100 *мм* булган торба эчендә газ басымы 200 *МПа.* Шул цилиндрның тышкы диаметрын табыгыз. Ике очракны —

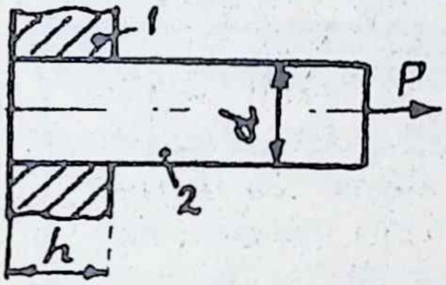
1) тоташ цилиндр,

2) оптималь (Гадолин бәйләнешләренә туры килгән) ялгаулы торбаны күзәтегез.

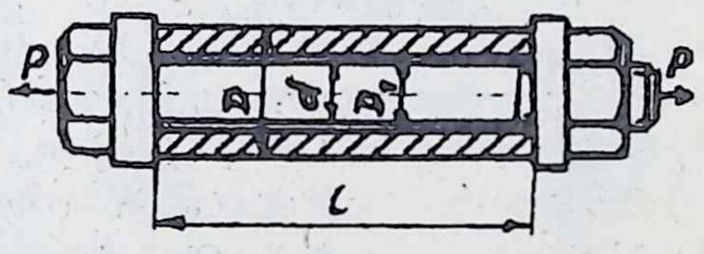
Материалның рөхсәт ителгән көчәнеше 600 *МПа.*

16. Төрле мәсьәләләр

16.1. Стенадагы тишеккә таяк кертеп кыстырылган. Моның өчен тишекнең диаметры таякныкыннан 2Δ зурлыгына кимрәк итеп ясалган. Таякны суытып (я стенаны җылытып) тишеккә керткәннән соң, ул стенада кысылып кала. Нәтиҗәдә стена белән таяк тоташкан өслектә контакт басымы барлыкка килә: $p_K = c\Delta$. Таякның иректе очына суырып алырга тырышкан P көче куелган. Бирелгән материаллар пары өчен (алар икесе дә корычтан) ышкылу коэффициенты f. P көче таякны суырып алмавы шартыннан чыгып, киерелү Δ ның минималь зурлыгын табыгыз. Аны тапканнан соң, $\Delta = \Delta_{min}$, $\Delta = 1{,}5\Delta_{min}$, $\Delta = 2\Delta_{min}$ зурлыклы киерелү очраклары өчен таяк буйлап нормаль көч эпюрларын төзегез:
$d = 20$ *мм*, $P = 40$ *кН*, $h = 20$ *мм*, $f = 0{,}2$, $c = 10^{11}/d\ \ H/м^3$.



16.1 мәсьәләгә



16.2 мәсьәләгә

16.2. 2.45 нче мәсьәләне болтның очларына P көче куелган очракта тикшерегез:

1) көч юк;

2) көч нульдән ярыклар ачылганчы үсә;

3) көч ярыклар ачылганнан соң да үсә.

Болт һәм көпшәдәге нормаль көчәнешнең үзгәрешен график төзеп өйрәнегез.

16.3. Газ я сыекча саклый торган савыт, химия аппараты герметик булсын өчен, аның корпусы белән капкачы арасына прокладка куялар һәм болтларны алдан тарттырып боралар.

Шул алдан тарттыру көче (P_0) төшәчәк йөк көченә һәм «прокладка — болт» системасының эластиклыгына бәйле. Аппаратның эчендәге басым p, аның эчке диаметры D, прокладканың калынлыгы h, эластиклык модульләре: болтныкы $E_б$, прокладканыкы $E_п$, болтның диаметры $d_б$. Болтның чыдамлыгы шартыннан һәм тоташтырылган урынның герметик булуы шартыннан чыгып, болттагы алдан тарту көчен билгеләгез. Герметиклык шарты болай булсын. Болтка йөк арта башлауга, прокладкадагы көч кимегәч, андагы кысу көчәнеше эчке басымнан ким булмаска тиеш. Мәсьәләне мондый конкрет очрак өчен чишегез:

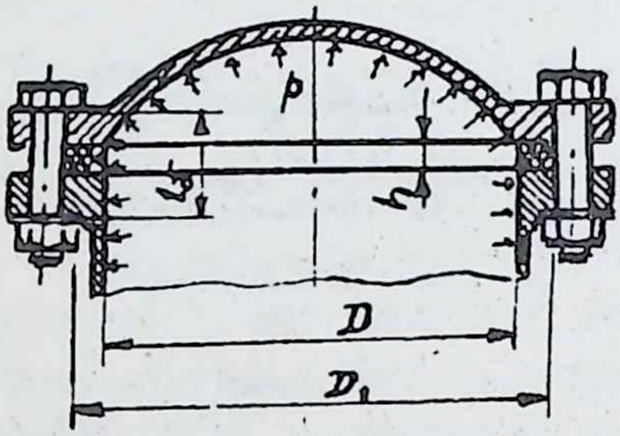
$D = 1000$ *мм*, $D_1 = 1100$ *мм*, $p = 1$ *МПа*,

$z = 44$, $d = 20$ *мм*, $l_б = 110$ *мм*, $d_{min} = 17{,}25$ *мм*,

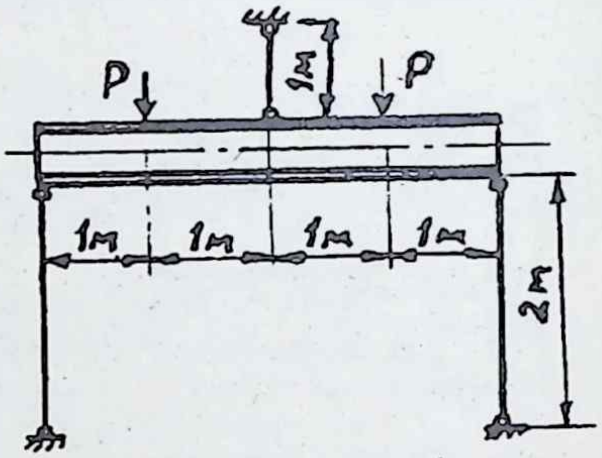
$h = 2$ *мм*, $E_п = 200$ *МПа*, $E_б = 2 \cdot 10^5$ *МПа*,

болтның материалы Ст.35, $\sigma_т = 300$ *МПа*,

запас коэффициенты 1,5.



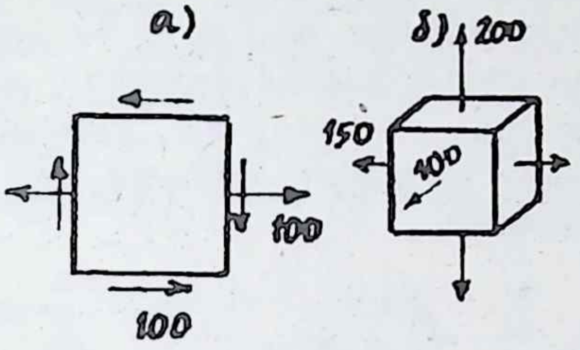
16.3 мәсьәләгә



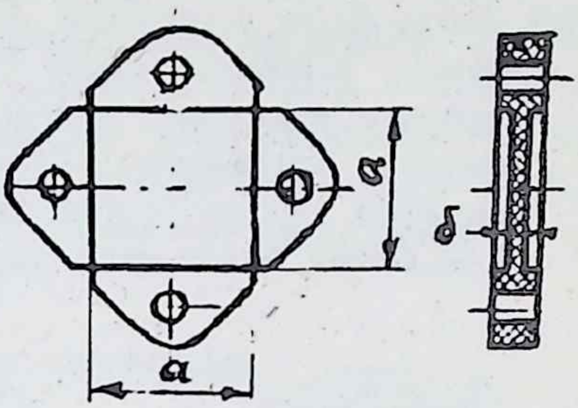
16.4 мәсьәләгә

16.4. Рәсемдә күрсәтелгән системадагы балканың аркылы кисеме — 14нче номерлы икетамга, таякларныкы — $d = 20$ *мм* диаметрлы түгәрәк. Чикләмә халәтне тикшереп, бу система күтәргән йөкнең куркынычсыз зурлыгын табыгыз. Материалның агучанлык чиге 240 МПа (Ст.3 маркалы корыч), запас коэффициенты 1,5. Астагы таякларның озынлыгы 2 тапкырга кимесә, мәсьәләнең нәтиҗәсе ничек үзгәрер?

16.5. Рәсемдә күрсәтелгән ике көчәнешле халәтнең кайсысы куркынычлырак? III һәм IV чыдамлык теорияләре буенча исәпләгез.



16.5 мәсьәләгә



16.6 мәсьәләгә

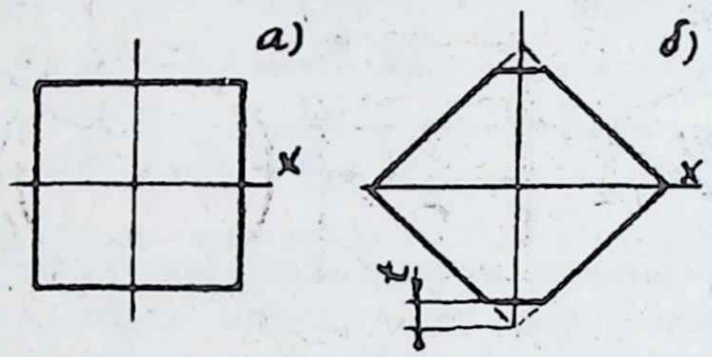
16.6. Шуышу модулен билгеләгәндә, мондый җайланма кулланалар. Сынала торган үрнәкнең төп, эшли торган өлеше квадрат формасында, аның яклары *а*, ә калынлыгы *δ*. Бу үрнәккә йөк кую өчен, аны дүрт буынлы механизм белән бергә кысып җыйганнар. Сынау машинасына куйгач, дүрт буынлы механизм үрнәккә, 2.42 нче мәсьәләдәгечә, көч белән тәэсир итә (башта ул мәсьәләне өйрәнегез). Машинаның көч үлчәве 1200 кг күрсәткәндә, үрнәкнең вертикаль буйлы деформациясе 0,005 булса (үрнәкнең зурлыклары $a = 40$ *мм*, $\delta = 3$ *мм*), шуышу модуле ни зурлыкта була?

16.7. Квадрат 45°ка борылгач, аның I_x инерция моменты үзгәрми, ә W_x — каршылык моменты үзгәрә (кими). Квадратның почмакларын кисеп ташлап, W_xны арттырып була. Аның зурлыгын *а* рәсемендә күрсәтелгән квадратныкы кадәр итеп буламы икән? Булса, шул шарттан *t* зурлыгын табыгыз. Шулай ук *t* зурлыгын W_xның максималь булуы шартыннан табыгыз.

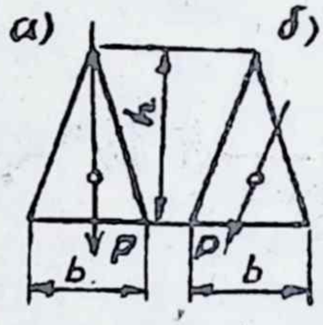
16.8. Җиңел автомобильләрдә, динамик көчләрне киметер өчен, тигез каршылыклы балка нигезендә ясалган рессорлар һәм пружиналар кулланалар. Бер үк статик көчтән бердәй сыгыла торган рессор һәм пружинаның (димәк, алар икесе дә динамик көчне бердәй киметәләр) массаларын чагыштырып карагыз. Аларның материаллары бер, чыдамлыклары да бердәй булырга тиеш.

һәрберсенә автомобиль массасының 1/4 өлеше төшсен. Пружинаның зурлыклары $D = 150$ *мм*, $d = 20$ *мм*, $n = 6$, рессор 4 *мм* калынлыктагы табактан ясалган, $\mu = 0{,}25$.

16.9. Тигезьянлы өчпочмак формасындагы кисемле борыс кыек бөгелү халәтендә тора. Өчпочмакның нигезе b, биеклеге h. Аркылы кисемдәге нормаль көчәнешләрне билгеләп, куркынычлы нокталарны күрсәтегез. Көчнең иң куркынычлы халәткә китерә торган авышу почмагын табыгыз һәм аның h/b белән бәйлелеген аңлатыгыз.

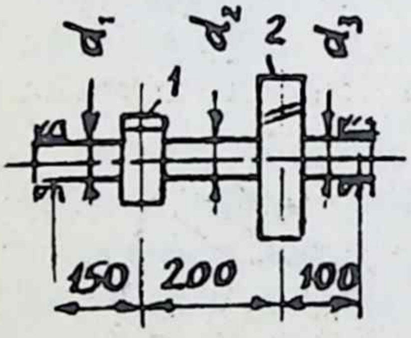


16.7 мәсьәләгә



16.9 мәсьәләгә

16.10. Валда беркетелгән тешле тәгәрмәчләрнең беренчесе — туры, икенчесе — кыек тешле, валның буйлы зурлыклары (*мм*) рәсемдә күрсәтелгән. Тәгәрмәчләрнең диаметрлары 110 һәм 200 *мм*. Вал 100 әйл/мин тизлеге белән әйләнеп, 5 *а.к.* кадәр егәрлек тапшыра. Кыек тешле тәгәрмәчнең авышу почмагы $\beta = 15^0$, эвольвентаның эләктерү почмагы $\alpha = 20^0$. Валның бүлемтекләрендәге диаметрларны аерым-аерым билгеләгез. IV чыдамлык теориясен кулланыгыз, $[\sigma] = 100$ *МПа*, 1 ат көчен 750 *Нм/с* дип санагыз.

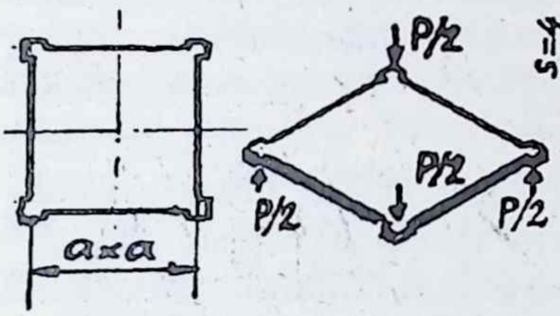


16.10 мәсьәләгә

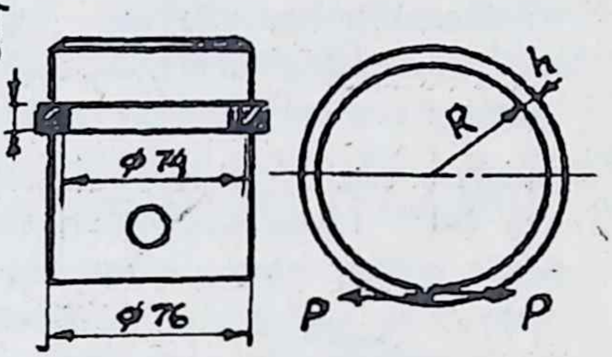
16.11. Материалларның шуышу модулен билгеләү өчен, мондый сынау үткәрәләр. Яссы кисәктән квадрат формалы үрнәк кисеп алалар (*а*) һәм аңа *б* рәсемендә күрсәтелгән схема буенча сынау машинасында көч белән тәэсир итәләр. Тышкы көчләрнең эше системаның деформация потенциаль энергия-

сенә тигез икәнен исәпкә алып, куелган көч (P), үрнәкнең зурлыклары (a, δ), шуышу модуле (G) һәм A белән B нокталарының чагыштырма күчеше арасындагы бәйлелекне табыгыз.

16.12. Боҗраны поршеньның канавына урнаштырырга кирәк. Аның материалы чуен, $E = 1{,}2 \cdot 10^4$ $МПа$, $[\sigma]_К = 150$ $МПа$, $[\sigma]_С = 80$ $МПа$. Поршеньга кидерер өчен боҗраны P көчләре белән аз гына турайтырга кирәк (күпмегә?). Боҗра сынмасын өчен, ул нинди калынлыкта булырга тиеш?



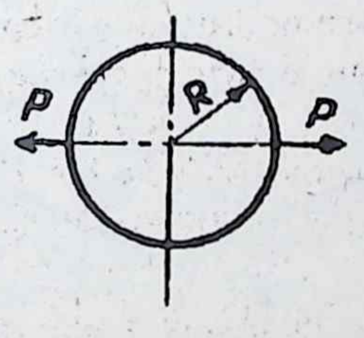
16.11 мәсьәләгә



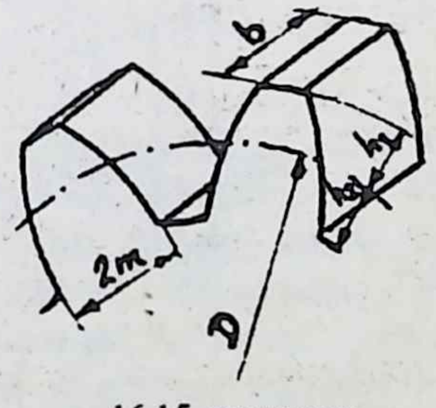
16.12 мәсьәләгә

16.13. Барлык терәк кисемнәрдә бөгү моментларының тигез булуы шартыннан чыгып, балканың аралык зурлыкларын (l) билгеләгез (9.12 нче мәсьәләне карагыз).

16.14. Боҗраның горизонталь һәм вертикаль диаметрларының үзгәрешләрен табыгыз.



16.14 мәсьәләгә



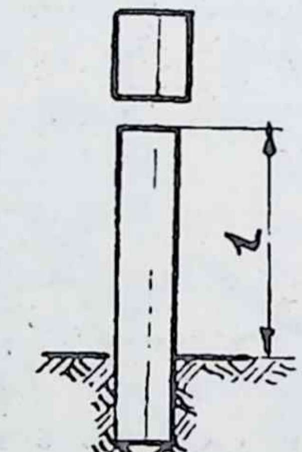
16.15 мәсьәләгә

16.15. Тешле тәгәрмәч 25 $кВт$ егәрлек тапшыра, әйләнү тизлеге $n = 1000$ әйл/мин. Тәгәрмәчнең барлык зурлыклары модуль

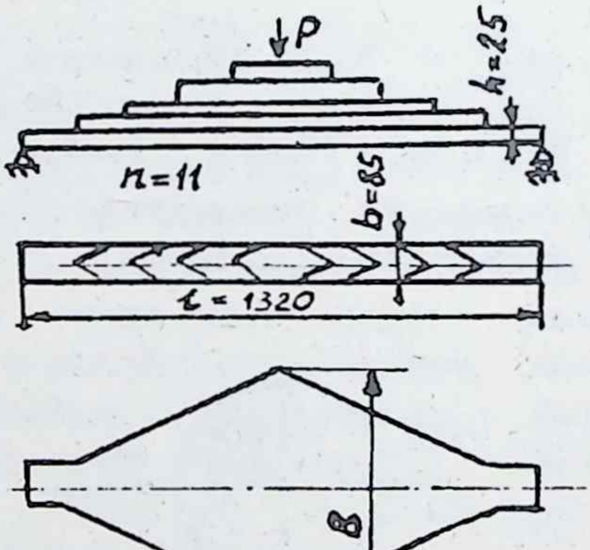
аша билгеләнә: $h_1 = m$, $h_2 = 1{,}2m$, $t = 2m$, тәгәрмәчнең бүлү диаметры $D = mz$ (z – теш саны), $b = 0{,}4D$; тәгәрмәчнең материалы — корыч, $\sigma_в = 1000$ *МПа*, $\sigma_{-1и} = 500$ *МПа*, запас коэффициенты $n = 2$, тешнең төбендә концентрация коэффициенты $\alpha_{кч} = 1{,}8$, $\varepsilon_\theta = 0{,}8$, $\varepsilon_м = 0{,}7$; $D = 155$ *мм*. Модульне һәм тешнең барлык зурлыкларын исәпләп билгеләгез.

16.16. $P = 800$ *кН* көче белән кысыла торган $L = 15$ *м* биеклектәге баганаы проектлаштырыгыз. Аның аскы очы каты кысылган, өскесе — иректә. Баганаың аркылы кисеме дүрт тигезьяклы почмаклардан (прокат профильләре) тора. Шул почмакларның номерын, аларның арасын һәм аркылы борыслар санын исәпләп табыгыз.

16.17. Йортларның фундаментын еш кына субай кагып ясыйлар. Субай кага торган машина (копер) тукмагының массасы 0,5 т, субайга бәргән чакта, аның тизлеге 2 *м/с* булсын. Субайның озынлыгы 4 *м*, материалы — тимер-бетон ($E = 1{,}2 \cdot 10^4$ *МПа*), аркылы кисеме — квадрат 40х40 *см*. Субайның аркылы кисемендәге нормаль көчәнешне исәпләп чыгарыгыз.



16.17 мәсьәләгә

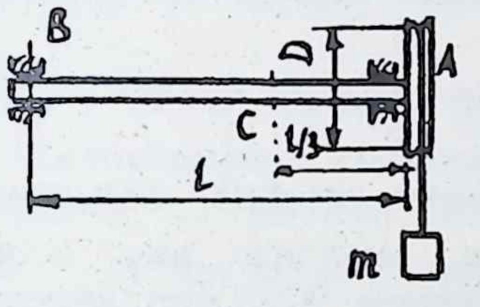


16.18 мәсьәләгә

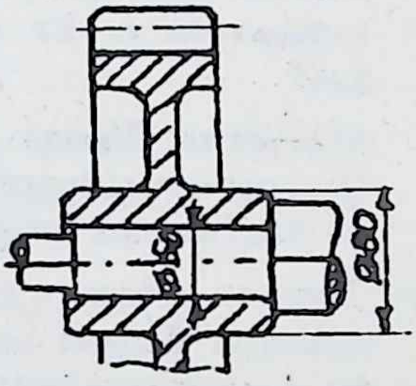
16.18. Йөк автомобиленең (мәсәлән, КамАЗның) рессорын рәсемдә күрсәтелгәнчә ясыйлар. Автомобиль 72 *км/сәг* тизлек белән барганда, юлда сикелтә очрый, аның озынлыгы 3 *м*, биеклеге

6 *см*. Рессорларның һәрберсенә 5 т масса тия. Сикелтәне үткәндә, вертикаль тизлек даими (уртача) кала дип алыйк, рессордагы максималь нормаль көчәнешне табыгыз. Шулай ук рессор даими кисемле балка нигезендә ясалган очрактагы көчәнешне табыгыз (бу очракта рессор ике тапкырга авыррак була).

16.19. 50 *кг* зурлыгындагы масса чыгырга (*А* чорналган бауда эленеп тора һәм ирекле рәвештә төшә башлый, хәрәкәт башлануга 3 секунд вакыт үткәч, вал *В* кисемендәге тормоз белән туктатыла. Баудагы нормаль һәм валдагы орынма максималь көчәнешләрне табыгыз. Валның диаметры 60 *мм*, чыгырның инерция моменты 1,5 $кгм^2$, диаметры 300 *мм*, бауның материалы — тимерчыбык, аның диаметры 4 *мм*, валның озынлыгы 1000 *мм*, бауның хәрәкәт башланганда асылынып торган өлешенең озынлыгы 0,5 *м*.



16.19 мәсьәләгә



16.20 мәсьәләгә

16.20. Уртача диаметры $D = 100$ *мм*, тимерчыбыгы диаметры $d = 15$ *мм*, булган ун бормалы пружина өстенә $m = 200$ *кг* массалы йөк куелган. Ул массага синусоидаль закон буенча үзгәрә торган көч тәэсир итә, аның амплитудасы 60 *Н*, ешлыгы 2,4 *Гц*. Пружина материалының кирәкле үзлекләрен 13.3 нче мәсьәләдәгеләргә туры китереп, чыдамлык запасы коэффициентын табыгыз.

16.21. Тешле тәгәрмәч, 450 *әйл/мин* тизлеге белән әйләнеп, 2,8 *кВт* егәрлек тапшыра. Тәгәрмәчнең эчке диаметры валның диаметрыннан Δ зурлыгына кимрәк, шуңа күрә аны, валга

кидерер өчен, башта җылыталар. Шуышу коэффициентын $f = 0,1$ дип алып, киеренкелекнең (Δ) зурлыгын табыгыз.

16.22. Пыяла пластиктан ясалган торбаның диаметры 1,5 *м*, калынлыгы 7,5 *мм*, озынлыгы 6 *м*. Аның эластиклык константалары: $E_1 = 5 \cdot 10^4$ *МПа*, $E_2 = 3 \cdot 10^4$ *МПа*, $\mu_1 = 0,25$, $\mu_2 = 0,15$. Торбага гидравлик сынаулар үткәргәндә, иң элек аның башларын капкачлар белән ябалар, аңа су тутыралар, аннары, эченә насос белән су куып, басымны күтәрәләр. Пластмассаларны сынаганда, йөкләнешнең зурлыгына гына түгел, аның тизлегенә дә зур әһәмият бирелә. Шуңа күрә безнең очракта, әйтик, эчке басымны 6 *МПа* га кадәр ярты минут эчендә күтәрергә кирәк. Насосның кирәкле җитештерүчәнлеген табыгыз. Капкачларның деформациясе исәбенә аны 15 процентка арттырыгыз.

16.23. Су асты көймәсенең корпусы калын цилиндр формасында ясалган булсын, материалының рөхсәт ителгән көчәнеше [σ], тыгызлыгы ρ. Ул көймә нинди тирәнлектә (H) йөзеп йөри ала?

Күрсәтмә. Монда ике таләп үтәлергә тиеш:

1) чыдамлык шарты,

2) йөзүчәнлек шарты (Архимед законын искә төшерегез).

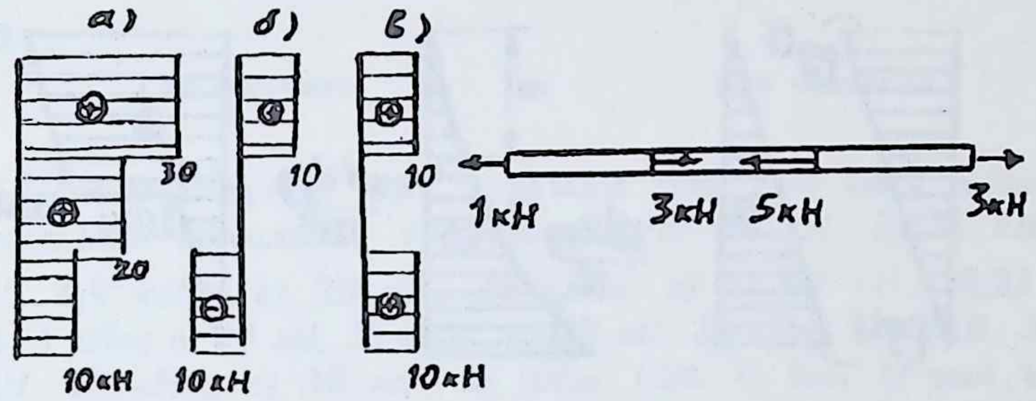
16.24. Теләсә нинди формадагы җисемгә ике капма-каршы юнәлгән бердәй көч (P) куелган. Көч кую нокталары арасы l, материалның эластиклык характеристикалары E , μ. Җисем күләме үзгәрешен табыгыз.

Күрсәтмә. Эш уртаклыгы теоремасын кулланыгыз. Моңа игътибар итегез: мәйдан буенча тигез таралган көчкә туры килгән гомумиләштерелгән күчеш — күләм үзгәрүе була.

Җаваплар һәм чишелешләр

1. Эчке көч факторлары

1.1,1.2. Рәсемнәрне карагыз. **1.3.** $N_1 = -\sqrt{2}P$, $N_2 = P$.



1.1, 1.2 мәсьәләләргә

1.4 .а) $N_{max} = 0{,}578P$, б) $N_{max} = 1{,}078P$, в) $N_{max} = 1{,}078P$.

а) БААС кагыйдәсен кулланып, таякларның аркылы кисемнәрендәге нормаль көчләрне табабыз:

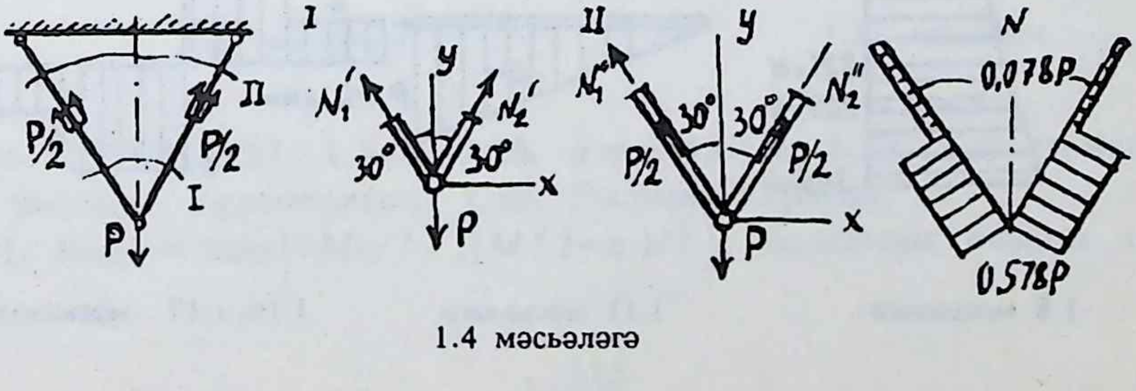
I. $\sum X = 0,\ -N'_1 \sin 30^\circ + N'_2 \sin 30^\circ = 0,\ N'_2 = N'_1;$

$\sum Y = 0,\ N'_1 \cos 30^\circ + N'_2 \cos 30^\circ - P = 0,\ N'_1 = N'_2 = 0{,}578P.$

II. $\sum X = 0,\ -N''_1 \sin 30^\circ + N''_2 \sin 30^\circ = 0,$

$\sum Y = 0,\ N''_1 \cos 30^\circ + N''_2 \cos 30^\circ - P \cos 30^\circ - P = 0,$

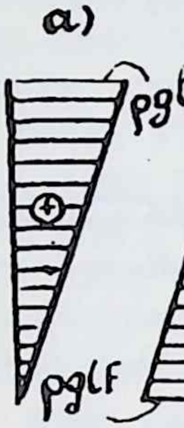
$N''_1 = N''_2 = 0{,}078P.$



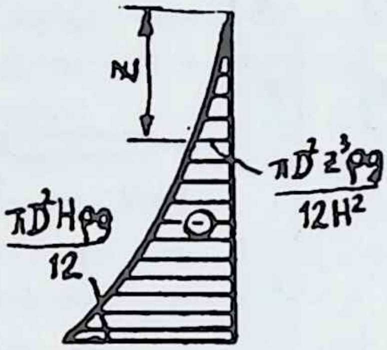
1.4 мәсьәләгә

Табылган зурлыклар буенча һәрбер таяк өчен нормаль көч эпюрын төзибез. Җавапларда аларның куркынычлы кисемнәрендәге нормаль көчләрнең зурлыклары китерелгән.

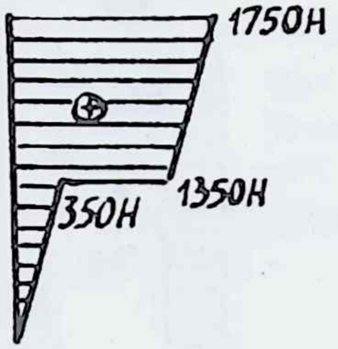
1.5 — 1.8. Рәсемнәрне карагыз. **1.9.** 135 *Н*. **1.10.** 5 *кН*.



1.5 мәсьәләгә

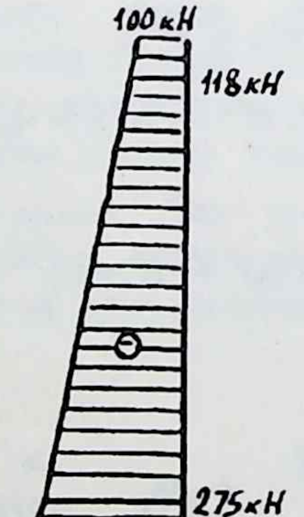


1.6 мәсьәләгә

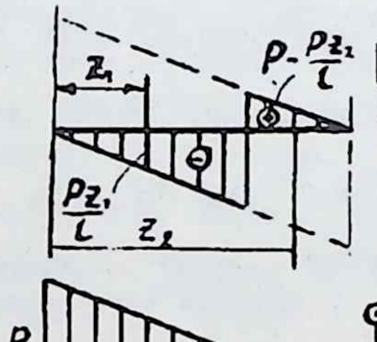


1.7 мәсьәләгә

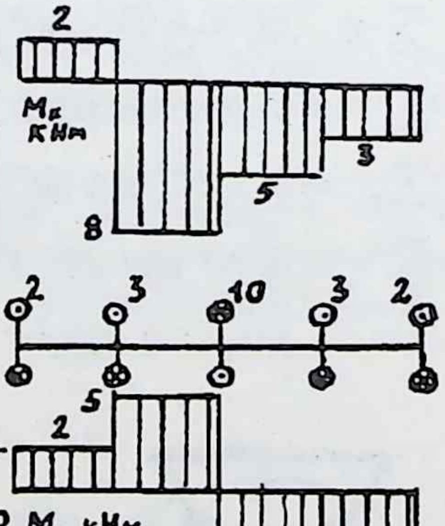
1.11. Рәсемне карагыз. **1.12.** а) 534 *Н*, б) 592 *Н*. **1.13.** N_{max} = 15 *кН*. **1.14.** 510 *кН*. **1.15.** $30W/(\pi n)$ *кНм*.



1.8 мәсьәләгә

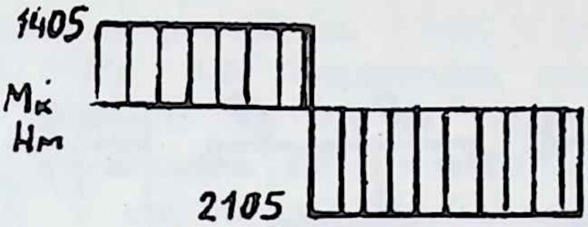


1.11 мәсьәләгә

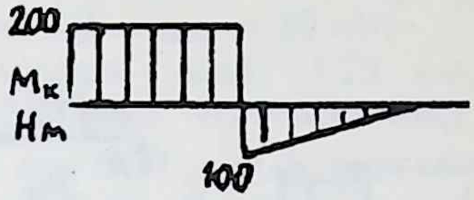


1.16, 1.17 мәсьәләләргә

1.16 — 1.19. $M_к$ эпюрлары рәсемнәрдә күрсәтелгән.



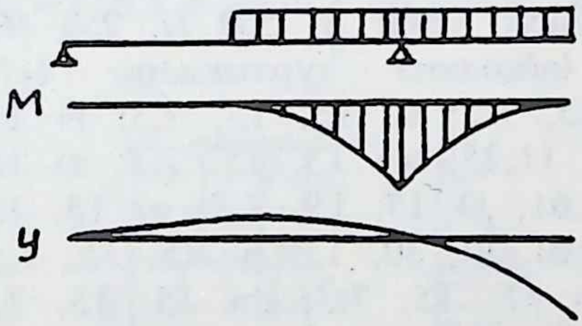
1.18 мәсьәләгә



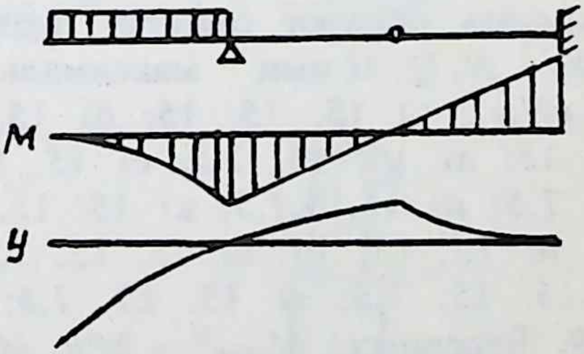
1.19 мәсьәләгә

1.20. $M_к^{(2)} = M_к^{(1)} n_1/n_2$. **1.21.** Аркылы көч һәм бөгү моментының максималь (абсолют) зурлыклары: а) 25 *кН*, 31,25 *кНм;* б) 25*кН*, 8,9 *кНм*; в) 20 *кН*, 20 *кНм;* г) 11,67 *кН*, 18,33 *кНм*; д) 10 *кН*, 5 *кНм*; е) 10 *кН*, 35 *кНм;* ж) 10 *кН*, 25 *кНм*; з) 10 *кН*, 5 *кНм;* и) 20 *кН*, 65 *кНм;* к) 10 *кН*, 35 *кНм.* **1.22.** *Q* һәм *M* ның максималь зурлыклары: а) 15 *кН*, 5 *кНм*; б) 10 *кН*, 2,5 *кНм*; в) 10 *кН*, 10 *кНм*; г) 10 *кН*, 15 *кНм;* д) 20 *кН*, 10 *кНм.* **1.23.** *Q* һәм *M* ның максималь зурлыклары: *а)* 20,3 *кН*, 17,2 *кНм;* *б)* 12,67 *кН*, 10 *кНм;* *в)* 18 *кН*, 14,4 *кНм;* г) 17 *кН*, 13,2 *кНм;* д) 7,33 *кН*, 2,23 *кНм.*

1.24, 1.25. Рәсемнәрне карагыз.



1.24 мәсьәләгә

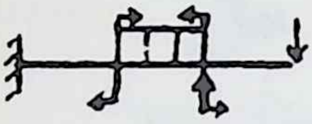


1.25 мәсьәләгә

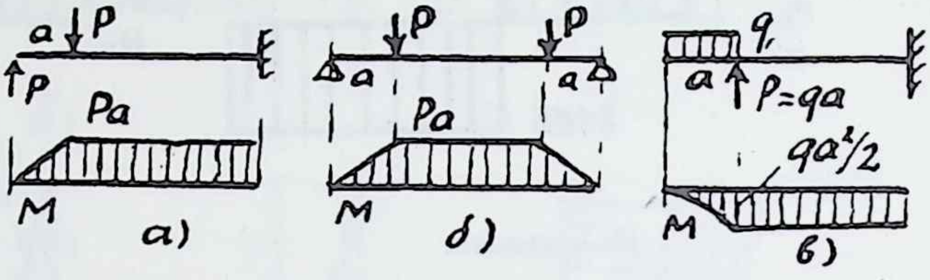
1.26. $0{,}207l$. **1.27.** $1{,}5qa$. **1.28.** $q = 2{,}42P/l$. **1.29.** Бер мөмкинлеге рәсемдә күрсәтелгән. **1.30.** Рәсемне карагыз.

1.31. $M_{max} = \max\left\{|Mx/l|, [M(l-x)/l\right\}$; балканың очында ($x = 0$

яки $x = l$). **1.32.** $M_{max} = Px(1-x)/l$;. көч куюның иң куркынычлы урыны – балканың уртасы, $M_{max}^{max} = Pl/4$.**1.33.** 28,33 *кН*, 20 *кНм*.



1.8 мәсьәләгә



1.11 мәсьәләгә

1.34. N, Q, M ның максималь (абсолют рәвештә) зурлыклары: а) 200 *Н*, 200 *Н*, 400 *Нм*; б) 400 *Н*, 400 *Н*, 200 *Нм*; в) 400 *Н*, 400 *Н*, 800 *Нм*; г) 200 *Н*, 200 *Н*, 200 *Нм*; д) 200 *Н*, 200 *Н*, 100 *Нм;* е) 400 *Н*, 400 *Н*, 100 *Нм*; ж) 800 *Н*, 300 *Н*, 400 *Нм;* з) 800 *Н*, 800 *Н*, 200 *Нм*; и) 1600 *Н*, 1600 *Н*, 400 *Нм*; к) 400 *Н*, 400 *Н*, 400 *Нм*; л) 400 *Н*, 400 *Н*, 400 *Нм*; м) 400 *Н*, 400 *Н*, 400 *Нм*; н) 400 *Н*, 400 *Н*, 200 *Нм*; о) 400 *Н*, 400 *Н*, 200 *Нм;* п) 100 *Н*, 100 *Н*, 100 *Нм*; р) 100 *Н*, 100 *Н*, 75 *Нм;* с) 200 *Н*, 200 *Н*, 100 *Нм*; т) 400 *Н*, 400 *Н*, 100 *Нм;* у) 200 *Н*, 200 *Н*, 50 *Нм*;

ф) 100 *Н*, 100 *Н*, 50 *Нм*. **1.35.** Иң куркынычлысы — в очрагы: $M^a = 0$; $M_{max}{}^б = Pa/4$; $M_{max}{}^в = Pa/2$. **1.36.** 0,7 l. **1.37.** N, Q, M ның максималь (абсолют рәвештә) зурлыклары : 500 *Н*, 500 *Н*, 250 *Нм*. **1.38.** N, Q, M ның максималь (абсолют) зурлыклары (*кН*, *кН,кНм):* а) 15, 15, 15; б) 15, 15, 7,5; в) 15, 15, 7,5; г) 15, 15, 15; д) 15, 15, 7,5; е) 15, 15, 11,25; ж) 15, 15, 7,5; з) 15, 15, 7,5; и) 15,15,7,5; к) 15, 15, 8,61; л) 15, 15, 7,5; м) 15, 15, 15; н) 15, 15, 15; о) 15, 15, 7,5; п) 30, 30, 15; р) 15, 15, 7,5; с) 15, 15, 7,5; т) 15, 15, 7,5; у) 15, 15, 7,5; ф) 15, 15, 7,5 **1.39.** Беренчесе: $M_{max}{}^a = 2PR$; $M_{max}{}^б = PR$. **1.40.** а) P, P, Pa; б) P, P, Pa; в) P, P, Pa; г) 0, P, $2Pa$; д) P, P, Pa; е) P, P, 1,5 Pa; ж) 0,707 P, 0,707 P, 0,707 Pa; з) 0, P, Pa; и) $P/2$, $P/2$, $Pa/4$; к) P,P, 2 Pa; л) qa, qa, 2,5 qa^2; м) qa, qa, 0,75 qa^2; н) qa, qa, $2qa^2$ о) $M/(3a)$, $M/(3a)$, 2 M ; п) M/a , M/a , 2 M ; р) P, P, Pa; с) P, P, Pa ; т) $P/2$, $P/2$, $Pa/2$; у) P, P, $3Pa$; ф) M/a, M/a, M.

2. Сузу һәм кысу

2.1. 79,5 МПа. **2.2.** $1\ кг = 10\ Н$, $1\ ^{кг}/_{см^2} = 0{,}1\ МПа$, $1\ ^{кг}/_{мм^2} = 10\ МПа$, $1\ кг \cdot м = 10\ Дж.$ $1\ кгм/с = 10\ Вт$. **2.3.** $N_{max} = 30\ кН$, $\sigma_{max} = 150\ МПа$. **2.4.** Квадратның ягы (сулдан уңга): 1,25 *см*, 0,588 *см*, 0,965 *см*. **2.5.** 0,8 *см*. **2.6.** $\sigma_т = 250\ МПа$, $\sigma_в = 407\ МПа$, Ст.3 маркалы корыч. **2.7.** $E = 2 \cdot 10^5\ МПа, \mu = 0{,}31$, Ст.3 маркалы корыч. **2.8.** 30 *мм*, 56 *мм*. **2.9.** 20 *мм*, 90 *мм*. **2.10.** 46 *кН*.

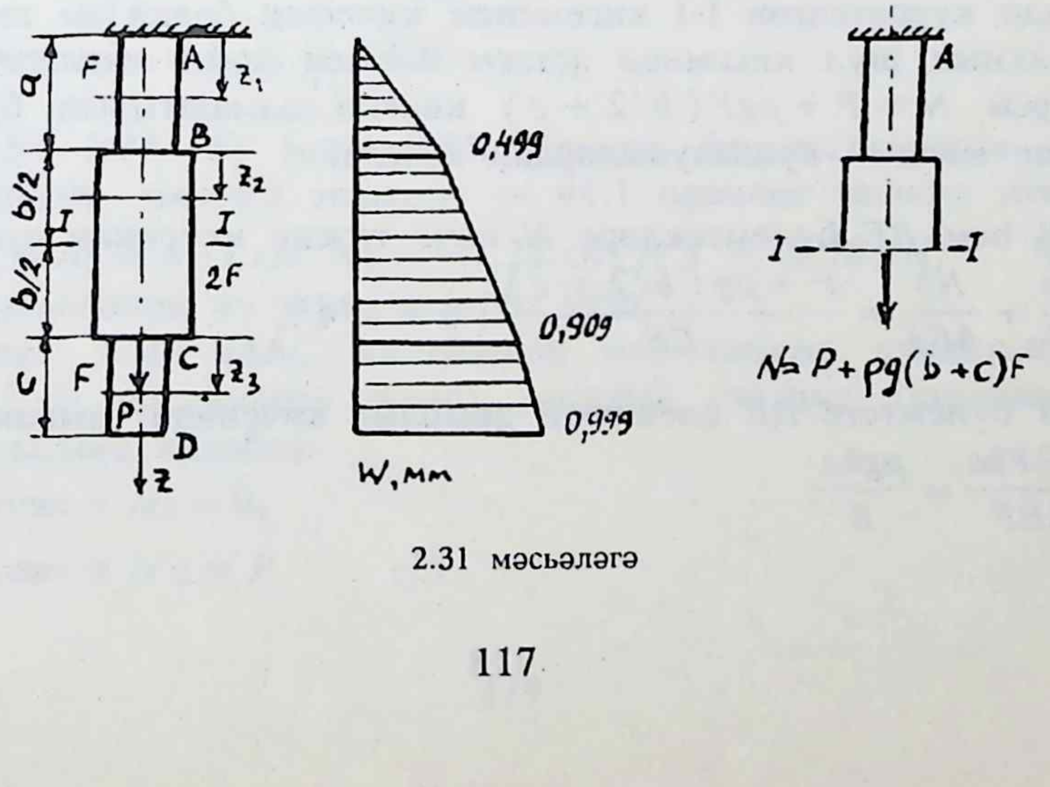
2.11. 15 *мм*, 3,3(3). **2.12.** $d = 15мм$, $\Delta_A{}^в = 1{,}57\ мм$. **2.13.** 147 *МПа*, 51,3 *МПа*, 1,7 *мм*. **2.14.** 4 *см*, №10, 1,63 *мм*. **2.15.** 24 *кН*. **2.16.** 1,25 *P*. **2.17.** 2,5 *P*, сулга таба. **2.18.** 0,94 *м*, 136 *МПа*, 41,8 *МПа*.

2.19. а) $F_1 = F_2 = 1{,}09\ см^2$; б) $F_1 = F_2 = 2{,}02\ см^2$; в) $F_1 = 2{,}02\ см^2$, $F_2 = 1{,}09\ см^2$. **2.20.** 3,75х7,5 *мм*. **2.21.** 27,7 *кН*. **2.22.** Ике 16 нчы номерлы швеллер. **2.23.** 91,3 *мм*, 5(4), 9,25 *мм*. **2.24.** $d_1 = 11{,}3см$, $d_2 = 35{,}5\ см$, $d_3 = 80\ см$, $d_4 = 205\ см$. **2.25.** $P = 28{,}4\ кН$, $\Delta A = 8{,}34\ мм$. **2.26.** $d = 11{,}7мм$ **2.27.** $P = 108{,}6\ кН$, $P_1 = 160\ кН$. **2.28.** 15,5 т, 19,6 т. **2.29.** 381 т, тигез каршылыклы борысныкы 368 т, даими кисемле борысныкы 432 т. **2.30.** $[\sigma]\, l / E$.

2.31. Өстәге бүлемтекнең теләсә нинди кисемендәге $(0 \le z_1 \le a)$ буйлы күчеш

$$w(z_1) = w_A + \int_0^{z_1} \frac{N(\zeta)}{EF} d\zeta$$

, шулай ук урта һәм аскы бүлемтекләр өчен $w(z_2) = w_B + \int_0^{z_2} \frac{N(\zeta)}{2\,EF} d\zeta$, $w(z_3) = w_C + \int_0^{z_3} \frac{N(\zeta)}{EF} d\zeta$.



2.31 мәсьәләгә

Терәк реакцияләрен табып $R_A = P + \rho gF(a + 2b + c)$, һәрбер бүлемтек өчен нормаль көчләр аңлатмаларын язабыз:

$N(z_1) = R_A - \rho gFz_1 = P + \rho gF(a + 2b + c - z_1)$;

$N(z_2) = R_A - \rho gFa - \rho g2Fz_2 = P + \rho gF(2b + c - 2z_2)$;

$N(z_3) = R_A - \rho gFa - \rho g2Fb - P - \rho gFz_3 = \rho gF(c - z_3)$.

Хәзер, бүлемтекләрнең чикләрендәге күчешләрне табып, күчеш эпюрын төзибез: $w_A = 0$;

$$w_B = 0 + \int_0^a \frac{P + (\rho gF(a + 2b + c - z_1)}{EF}dz_1 =$$

$$= \frac{P + \rho gF(a + 2b + 6c)}{EF}a - \frac{\rho ga^2}{2E} = 0{,}5\ мм\ ;$$

$$w_C = w_B + \int_0^b \frac{P + \rho gF(2b + c - 2z_2)}{2EF}dz_2 =$$

$$= w_B + \frac{P + \rho gF(2b + c)}{2EF}b - \frac{\rho gb^2}{E} = 0{,}999\ мм.;$$

$$w_D = w_C + \int_0^c \frac{\rho gF(c - z_3)}{EF}dz_3 =$$

$$= w_C + \frac{\rho gc^2}{E} - \frac{\rho gc^2}{2E} = w_C + \frac{\rho gc^2}{2E} = 0{,}9992\ мм = 1\ мм.$$

Рәсемдә күрсәтелгән I-I кисеменең күчешен болай да табып була. Таякның шул кисемнән астагы өлешен алып ташласак, аның тәэсирен $N = P + \rho gF(b/2 + c)$ көченә алмаштырып була. I-I күчеше мондый кушылучылардан җыела:

1) AB һәм BE бүлемтекләре N көче тәэсир итүеннән озыная

$$\frac{Na}{EF} + \frac{Nb}{4EF} = \frac{P + \rho g(b/2 + c)}{EF}(a + b/4);$$

2) AB бүлемтеге BE өлешенең авырлык көченнән озыная

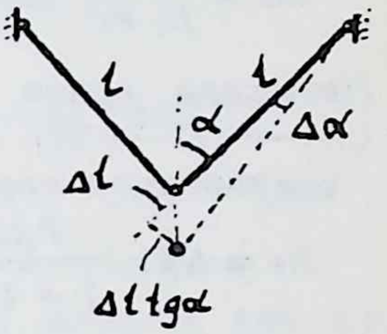
$$\frac{\rho g2Fba}{2EF} = \frac{\rho gba}{E};$$

3) AB һәм BE бүлемтекләре үз авырлыкларыннан озынаялар
$\dfrac{\rho g a^2}{2E}+\dfrac{\rho g b^2}{8E}$.

Сан кыйммәтләрен китерелгән аңлатмаларга куеп, I-I кисеменең күчешен табабыз: $w_{I-I}=0{,}751$ *мм*.

2.32. Таяклар озынаю сәбәпле, аларның араларындагы почмаклар да үзгәрә, α почмагы α_1 гә әверелә:

$\alpha_1=\alpha-\Delta\alpha=\alpha-\Delta l\; tg\,\alpha/l=\alpha-\varepsilon\; tg\,\alpha.$



2.32 мәсьәләгә

Таяклардагы нормаль көч $N=P/(2\cos\alpha_1)$, ә почмакның үзгәрүен исәпкә алмасак, без аны $N_0=P/(2\cos\alpha)$ дип саныйбыз. Мондый санауның хатасы бирелгән δ дан артырга тиеш түгел:

$$\frac{N-N_0}{N_0}=\frac{N}{N_0}-1=\frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha}-1<\delta.$$

Шушы тигезлеккә α_1 аңлатмасын куеп, безнең мәсьәләгә карата башлангыч зурлыкларның үзгәрмәүлек гипотезасы чиген табабыз:

$$\frac{\cos(\alpha-\Delta\alpha)}{\cos\alpha}=\frac{\cos\alpha\cos\Delta\alpha+\sin\alpha\sin\Delta\alpha}{\cos\alpha}=$$

$$=\frac{\cos\alpha+\sin\alpha\cdot\Delta\alpha}{\cos\alpha}=1+tg\,\alpha\cdot\Delta\alpha=1+\varepsilon\cdot tg^2\alpha\le 1+\delta,$$

шуннан $tg^2\alpha\le\delta/\varepsilon$, $\alpha\le 82^{\circ}$.

2.33. $5{,}5^{\circ}$. **2.34.** 32 болт. **2.35.** Көчнең бетонга төшкән өлеше 55,9 процент, тимергә төшкәне — 44,1 процент тәшкил итә.

2.36. $N_1=N_3=4{,}17$ *кН*, $N_2=-7{,}22$ *кН*, $N'_2=12{,}78$ *кН*. Чишәр өчен, мәсьәләнең өч ягын күзәтеп үтик.

1. *Статик ягы.* БААС кагыйдәсен ике тапкыр кулланып (I-I һәм II-II кисемнәрен алып), мондый статика тигезләмәләре системасына киләбез:

$2N_1\cos\alpha+N_2=0,$

$2N_1\cos\alpha+N'_2=P.$ (1)

Әлбәттә, $N_3 = N_1$, N'_2 дип икенче таякның өске өлешендәге нормаль көч билгеләнгән.

2. *Геометрик ягы.* Таякларның бергәләп озынаюлары рәсемдә күрсәтелгән, аннан күренгәнчә,

$$\Delta l_1 = (\Delta l_2 + \Delta l'_2) \cos \alpha. \quad (2)$$

3. *Физик ягы.* Озынаюлар белән нормаль көчләрнең бәйләнеше — Гук законы:

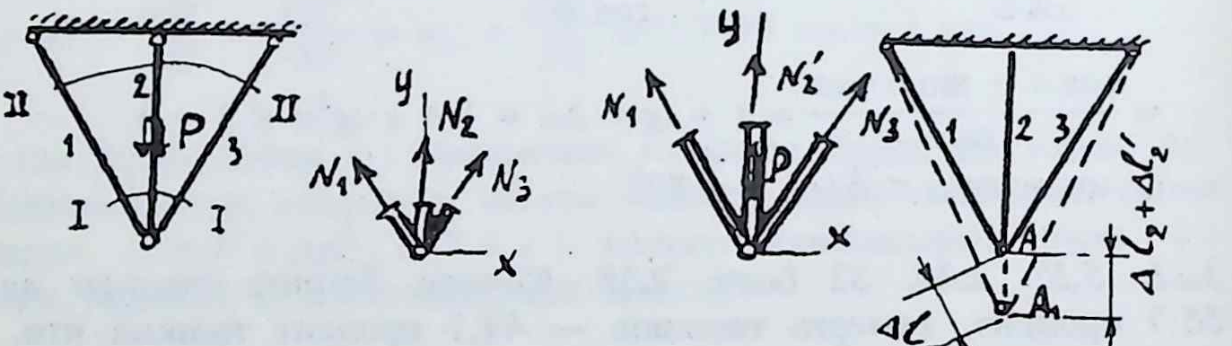
$$\Delta l_1 = \frac{N_1\, l_1}{E_1\, F_1}, \quad \Delta l_2 = \frac{N_2\, l_2}{2\, E_2\, F_2}, \quad \Delta l'_2 = \frac{N'_2\, l_2}{2\, E_2\, F_2}. \quad (3)$$

Нәтиҗәдә килеп чыккан (1) — (3) тигезләмәләр системасын (3) —> (2) —> (1) тәртибендә чишкәч, таякларның аркылы кисемнәрендәге нормаль көчләрне табабыз:

$$N_1 = N_3 = \frac{P \cos^2 \alpha}{1 + 4 \cos^3 \alpha} = 4{,}17\ кН,$$

$$N_2 = - \frac{2\, P \cos^2 \alpha}{1 + 4 \cos^3 \alpha} = -\ 7{,}22\ кН,$$

$$N'_2 = P\, \frac{1 + 2 \cos^2 \alpha}{1 + 4 \cos^3 \alpha} = 12{,}78\ кН.$$



2.36 мәсьәләгә

2.37. $F_1 = 0{,}6\ см^2$, $F_2 = 1{,}2\ см^2$, $F_3 = 1{,}8\ см^2$. **2.38.** 12,86 *кН.* **2.39.** Өстән аска: $4/3\, P$, $1/3\, P$, $-\ 5/3\, P$. **2.40.** $R_B = 9{,}3\ кН$; нормаль көч (өстән аска): 50,7 *кН*, 10,7 *кН*, — 9,3 *кН.* **2.41.** Нормаль көч (сулдан уңга): 7 *кН*, — 13 *кН*; $48^\circ C$; $-\ 32^\circ C$.

2.42. $N_1 = N_3 = 17{,}4\ кН$, $N_2 = -\ 30{,}1\ кН$.

2.43. $N_1 = \dfrac{P}{2\left(\sqrt{2} + \dfrac{E_2 F_2}{E_1 F_1}\right)}$, $N_2 = \dfrac{P}{2}\left(1 + \dfrac{\dfrac{E_2 F_2}{E_1 F_1}}{\sqrt{2} + \dfrac{E_2 F_2}{E_1 F_1}}\right)$,

$N_3 = \dfrac{P}{2}\left(1 - \dfrac{\dfrac{E_2 F_2}{E_1 F_1}}{\sqrt{2} + \dfrac{E_2 F_2}{E_1 F_1}}\right)$. **2.44.** $N_1 = \dfrac{P}{2\sqrt{2}}$, $N_2 = -N_3 = \dfrac{P}{2}$.

2.45. 11,03 *кН*. **2.46.** 2,5 *см*^{2}. **2.47.** $\dfrac{Pl(1-2\mu)}{E}$.

2.48. $\delta = \dfrac{2Pl}{35EF}$. **2.49.** $\sigma_1 = -74{,}5$ *МПа*, $\sigma_2 = -72{,}3$ *МПа*.

2.50. $\sigma_1 = -74{,}5$ *МПа*, $\sigma_2 = -31{,}6$ *МПа*.

2.51. $d_1 = 17$ *мм*, $d_2 = 24$ *мм*. $d_3 = 30$ *мм*. **2.52.** $\delta = 0{,}16$ *мм*.

2.53. Ярык ябылганчы, кырыйдагы таякларда нормаль көч юк, чөнки көчләр бер-берсен тигезлиләр. Бу чактагы нормаль көч эпюры *а* рәсемендә күрсәтелгән. Ярык ябылганда,

$$\Delta l_2 = \frac{Nl}{3E_2F_2} = \frac{Pl}{3E_2F_2} = \Delta,$$

шуннан $P_0 = 3E_2F_2\Delta/l = 400 \cdot 10^3\ H = 400$ *кН*.

Көч артып, ярык ябылгач, уртадагы таякка астан терәк реакциясе тәэсир итә башлый, ул R_2 булсын; кырыйдагы таякларга да терәк реакцияләре тәэсир итә, алар R_1.

1. Статика тигезләмәсеннән

$$\sum Y = 0,\ -2R_1 + R_2 - P + P = 0 \implies R_1 = R_2/2.$$

Кырый таяклардагы нормаль көч:

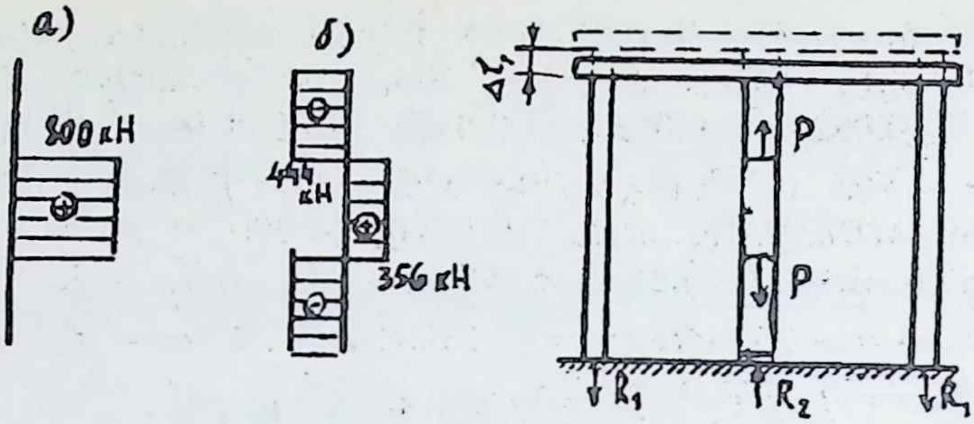
$N_1 = R_1 = R_2/2$.

Уртадагы таякның аскы өлешендә $N_2^{(1)} = -R_2$,,

урта өлешендә $N_2^{(2)} = -R_2 + P$,

өстәгесендә $N_2^{(3)} = -R_2 + P - P = -R_2$.

2. Кырыйдагы таякларның сузылуы Δl_1, ә уртадагысыныкы $\Delta l_2 = \Delta l_1 + \Delta$.



2.53 мәсьәләгә

3. Гук законыннан $\Delta l_1 = \dfrac{N_1\, l}{E_1\, F_1} = \dfrac{R_2\, l}{2\, E_1\, F_1}$,

$$\Delta l_2 = \frac{N_2^{(1)}\, l}{3\, E_2\, F_2} + \frac{N_2^{(2)}\, l}{3\, E_2\, F_2} + \frac{N_2^{(3)}\, l}{3\, E_2\, F_2}.$$

Тигезләмәләр системасын чишеп, башта терәк реакцияләрен табабыз: $R_2 = 444$ *кН*. Шуннан соң кырый таяклардагы нормаль көч $N_1 = R_2/2 = 222$ *кН*, урта таяктагы нормаль көчләр эпюрда күрсәтелгән.

2.54. $\sigma_1 = -139$ *МПа*, $\sigma_2 = -89$ *МПа*. **2.55.** 83,8 *кН*. **2.56.** 0,1 *мм*, 0,025 *мм*. **2.57.** 328 *МПа*, 115 *МПа*.

3. Көчәнешле халәт теориясе һәм чыдамлык теорияләре

3.1. $\sigma_o = 60$ *МПа*, $\tau_o = 0$, $p_o = \sigma_o = 60$ *МПа*, $\sigma_{30^o} = 45$ *МПа*, $\tau_{30^o} = 26$ *МПа*, $p_{30^o} = 52$ *МПА*, $\sigma_{max} = \sigma_o = 60$ *МПА* ($\alpha = 0$), $\tau_{max} = \sigma_o/2 = 30$ *МПа* ($\alpha = 45^o$) **3.2.** 60 *кН*. **3.3.** 18,5 *мм*. **3.4.** 2x10 *см*. **3.5.** 45°. **3.6.** 34,6 *МПа*. **3.7.** 45°, $26{,}5^o$, $63{,}4^o$. **3.8.** 54,8 *МПа*. **3.10.** 1) 100; 0. 2) 80; 20. 3) 95; 43,3. 4) 37,5; 97,5. 5) 0; 100. 6) 75; 130. 7) –25; 125. 8) 105; —8,7. 9) –95; —43,3. 10) -120; 0 *МПа*. **3.11.** 79 *МПа*. **3.12.** 1) 44,2 *МПа;* 15,8 *МПа;* 0 *МПа;* —$22{,}5^o$. 100; 2) 0; 0; —26,5. 3) 141,4; 0; —41,5; —45. 4) 113; 0; —113; —22,5. 5) 108,3; 0; —8.3; – 15,5. 6) 4,7; 0; —84,7; —13,3. 7) 100; 0; —100; —45. 8) 100; 0; —100; 45. 9) 130,9; 19,1; 0; —31,7. 10) 48,5; 0; —18,5; —31,7. **3.13.** 1) 0,0463 *МПа* (*МДж/м*^{3}); 2) 0,025; 3) 0,0617; 4) 0,0798;

5) 0,0317; 6) 0,0185; 7) 0,0625; 8) 0,0625; 9) 0,044; 10) 0,0078. **3.14.** 1) 0,00313 МПа; 2) 0,0208; 3) 0,0574; 4) 0,0798; 5) 0,0264; 6)0,0158; 7) 0,0625; 8) 0,0625; 9) 0,0312; 10) 0,00747. **3.15.** $\gamma = 2\,\varepsilon$.

3.16. $\varepsilon_3 = -\,5{,}25 \cdot 10^{-3}$, $u = 60{,}0585$ *МПа*, **3.17.** 1) $\sigma_{экв}{}^{I} = 100$ *МПа*, **3.18.** 1) 40 *МПа;* 34,6 *МПа.* 2) 0; 0. 3) 200; 175. 4) 200; 200. 5) 100; 86,6. **3.19.** 0. **3.20.** 156 *МПа,* —108 *МПа,* $-23{,}1^{o}$.

3.21. $\sigma_1 = \sigma_2 = -\,25$ *МПа*, $\sigma_3 = -\,75$ *МПа*. **3.22.** $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$.

3.23. $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$, $\sigma_3 = -\,75$ *МПа* (ярык ябылмый).

3.24. $\sigma_1 = 0$, $\sigma_2 = -\,30$ *МПа*, $\sigma_3 = -\,100$ *МПа*; $\Delta = 0{,}024$ *мм.*

3.25. Беренчесе: а) $\sigma^{III}_{экв} = 180$ *МПа*; б) $\sigma^{III}_{экв} = 140$ *МПа.*

3.26. 1,256 $см^3$. **3.27.** $\Delta l = \dfrac{Pl}{E}(1-2\mu)$; $\Delta V = \dfrac{3PV}{E}(1-2\mu)$.

4. Яссы кисемнәрнең геометрик характеристикалары

4.1. а) $x_c = 0$; $y_c = 35$ *мм*. б) 32,3; 32,3. в) 16,8; 0. г) 11,5; 26,5.

4.2. $x_c = y_c = \dfrac{4\,R}{3\,\pi}$. **4.3.** $x_c = y_c = 0{,}225\,R$.

4.4. а) $y_c = 0{,}056\ D$; б) $y_c = \dfrac{D}{\pi}$. **4.6.** $I_{xo} = D^4\left(\dfrac{\pi}{128} - \dfrac{1}{18\,\pi}\right)$, $I_{y0} = \pi\,D^4/128$. **4.7.** Көчәрләр кисем үзәге аша үтсә, үзгәрми.

4.8. а) $I_x = 7590\ см^4$; б) $I_x = 5990\ см^4$.

4.9. 201 $см^4$, 1916 $см^4$, 7780 $см^4$ (40 нчы номерлы икетамга); $I_x^{(1)} : I_x^{(2)} : I_x^{(3)} = 1 : 9{,}5 : 38{,}7$.

4.10. а) $I_x = 900\ см^4$, $I_y = 502\ см^4$; б) $I_x = 408\ см^4$, $I_y = 102\ см^4$.

4.11. $I_p = \pi\,D^3\,\delta/4$; $I_x = I_y = \pi\,D^3\,\delta/8$; $i_x = i_y = 0{,}354\,D$.

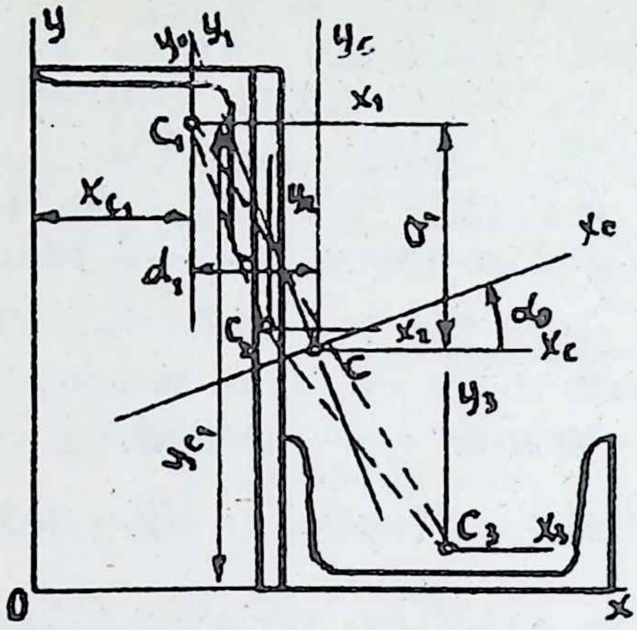
4.12. $I_x = 35000\ см^4$, $I_y = 6875\ см^4$.

4.13. а) 54,2 $см^4$; б) 3040; в) 16700; г) 101100.

4.14. $I_x = b\,h^3/12$, $I_y = b^3\,h/12$, $I_{xy} = d^2\,h^2/224$.

4.15. $I_x = b\,h^3/36$, $I_{xy} = -\,b^2\,h^2/72$.

4.17. а) $I_{max} = 3335\ см^4$, $I_{min} = 633\ см^4$, $i_{max} = 13{,}65\ см$, $i_{min} = 3{,}64\ см$, $\alpha_o = 32{,}05^{o}$. $I_{max} = 116\ см^4$, $I_{min} = 30{,}3\ см^4$, $I_{x1y1} = -\,(116 - 30{,}3)/2 = -\,42{,}8\ см^4$;



2.53 мәсьәләгә

1. Кисемне тәшкил итүче фигураларның характеристикалары:

$x_{c1} = 5{,}73$ *см*, $y_{c1} = 17{,}73$ *см*, $F_1 = 12{,}3$ *см*^{2}, $I_{x1} = I_{y1} = 73{,}4$ *см*^{4},

$I_{x1y1} = -(116 - 30{,}3)/2 = -42{,}8$ *см*^{4};

$x_{c2} = 8{,}5$ *см*, $y_{c2} = 10$ *см*, $F_2 = 20$ *см*^{2}, $I_{x2} = 1 \cdot 20^3/12 = 667$ *см*^{4},

$I_{x3} = 45{,}4$ *см*^{4}, $I_{y3} = 491$ *см*^{4}, $I_{x3y3} = 0$.

2. Кисем үзәгенең координатлары:

$$x_c = \sum_1^3 F_i\, x_{ci} / \sum_1^3 F_i = \frac{12{,}3 \cdot 5{,}75 + 20 \cdot 8{,}5 + 15{,}6 \cdot 16}{12{,}3 + 20 + 15{,}6} = 10{,}23 \text{ см},$$

$$y_c = \sum_1^3 F_i\, y_{ci} / \sum_1^3 F_i = 9{,}27 \text{ см}.$$

Координатлары буенча үзәкне (С ноктасын) табабыз һәм аның аша үзәк күчәрләр сызабыз.

3.. Үзәк күчәрләр янындагы инерция моментлары:

$$I_{xc} = \sum_1^3 I_{xc}{}^i = \sum_1^3 (I_{xi} + a_i^2 F_i), \quad I_{yc} = \sum_1^3 I_{yc}{}^i = \sum_1^3 (I_{yi} + d_i^2 F_i),$$

$$I_{xcyc} = \sum_1^3 I_{xc}y_c{}^i = \sum_1^3 (I_{xi}y_i + a_i\, d_i\, F_i).$$

Монда кергән $a_i = y_{c_i} - y_c$, $d_i = x_{c_i} - x_c$ — гади фигуралар һәм бөтен кисемнең үзәк күчәрләре аралары:

$$a_1 = 17{,}73 - 9{,}27 = 8{,}44\ см,\ d_1 = 5{,}73 - 10{,}23 = -4{,}56 см;$$

$$a_2 = 10 - 9{,}27 = 0{,}73\ см,\ d_2 = 8{,}5 - 10{,}23 = -1{,}73\ см;$$

Табылган саннарны инерция моментлары аңлатмаларына куйгач, аларның зурлыкларын табабыз:

$$I_{xc} = 2574\ см^4,\ I_{yc} = 1394\ см^4,\ I_{xcyc} = -1216\ см^4.$$

4. Төп үзәк күчәрләрне табу. Төп үзәк күчәрләрнең үзәк горизонталь һәм вертикаль күчәрләргә авышу почмагын менә бу аңлатмадан табабыз:

$$tg\, 2\alpha_o = \frac{2\, I_{xcyc}}{I_{yc} - I_{xc}} = \frac{-2 \cdot 1216}{1394 - 2574} = 2{,}061,$$

$$2\,\alpha_o = 64{,}1^\circ,\ \alpha_o = 32{,}05^\circ.$$

5. Кисемнең төп инерция моментлары:

$$I_{xo} = I_{xc} \cos^2 \alpha_o + I_{yc} \sin^2 \alpha_o - I_{xcyc} \sin 2\alpha_o = 3335\ см^4,$$

$$I_{yo} = I_{xc} \sin^2 \alpha_o + I_{yc} \cos^2 \alpha_o + I_{xcyc} \sin 2\alpha_o = 633\ см^4.$$

Чишү нәтиҗәсен тикшерәбез, $I_{xc} + I_{yc} = I_{xo} + I_{yo}$ булырга тиеш.

6. Инерция радиусларын табабыз:

$$i_{xo} = \sqrt{\frac{I_{xo}}{F}} = 13{,}65\ см,\ i_{yo} = \sqrt{\frac{I_{yo}}{F}} = 3{,}6\ см$$

һәм инерция эллипсын төзибез (i_{xo}нең зурлыгын y_o, i_{yo} некен x_o күчәре буйлап салабыз).

б) $3218\ см^4$, $206\ см^4$, $9{,}07\ см$, $2{,}3\ см$, $6{,}25^\circ$,

в) $8818\ см^4$, $1080\ см^4$, $11{,}77\ см$, $5{,}44\ см$, $7{,}21^\circ$.

4.18. Камаучы радиус аша:

$$I_x = I_y = \frac{I_p}{2} = \frac{nr^4}{4} \sin\frac{\pi}{n} \cos\frac{\pi}{n} \left(\cos^2\frac{\pi}{n} + \frac{1}{9}\sin^2\frac{\pi}{n} \right),\ R \text{ — радиус.}$$

Күппочмак ягы аша:

$$I_x = I_y = \frac{I_p}{2} = \frac{na^4\,(9 + tg^2\,(\pi/n))}{576\, tg^3\,(\pi/n)},$$

a — күппочмак ягы, n — яклар (почмаклар) саны.

4.19. $I_x^{max} = 0{,}433\ R^4\,(\alpha = 60^\circ)$, $W_x^{max} = 0{,}513\ R^3\,(\alpha = 54{,}74^\circ)$.

4.20. $h = 0{,}978\ D$. **4.21.** Тәгәрәтеп җибәрергә кирәк. Куышы ераграк тәгәрәр.

5. Шудырып күчерү һәм бөтерү

5.1. Заклепкалар диамстрын кисүгә (шуышуга) һәм сытылуга чыдамлык шартларыннан чыгып билгелиләр. Киселүгә чыдамлык шарты болай языла:

$$\tau = \frac{P}{2\,F\,n} \le [\tau\,],$$

мондагы $2\,F$ — ике киселү мәйданчыгы булуын күрсәтә, $F = \pi\,d^2/4$ икәнен исәпкә алып, .диаметрын мондый формуладан табып була:

$$d = \sqrt{\frac{2P}{n\pi[\tau\,]}} = \sqrt{\frac{2\cdot 40\cdot 10^3}{3\pi\cdot 80\cdot 10^6}} = 1{,}03\cdot 10^{-2}\,м = 1{,}03\,см,$$

n — бер рәттәге заклепкалар саны, безнең очракта $n = 3$.

Сытылуга чыдамлык шарты болай языла:

$$\sigma_{сыт}= \frac{P}{n\delta d} \le [\sigma\,]_{сыт},$$

мондагы δd — ул заклепканың уртача сытылу мәйданы, рәсемдә штрихлап күрсәтелгән. Шуннан

$$d = \frac{P}{n\delta\ [\sigma\,]_{сыт}} = \frac{40\cdot 10^3}{3\cdot 6\cdot 10^3\cdot 250\cdot 10^6} = 0{,}009\ м = 0{,}9\ см.$$

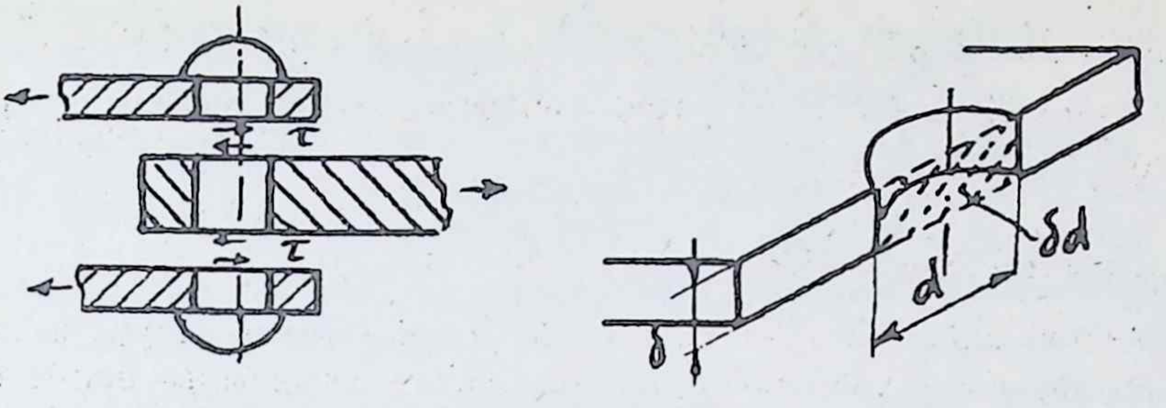
Диаметрның зуррагын алабыз. Шулай итеп, заклепканың диаметры $d = 10\ мм$.

Табакны өзелүгә чыдамлык шарты буенча тикшерәбез:

$$\sigma = \frac{P}{\delta\,(\,b - nd\,)} = \frac{40\cdot 10^3}{6\cdot 10^{-3}(\,0{,}2 - 3\cdot 0{,}01\,)} = 39{,}2\ МПа < [\sigma].$$

5.2. 22 *кН*. **5.3.** 32 *кН*. **5.4.** $\sigma_в = 1600\ МПа$. **5.5.** 314 *Нм*. **5.6.** 6 *см*. **5.7.** 17,2 *см*. **5.8.** 14 *см*. **5.10.** 1) 4,5(4) номерлы почмак; 2) 4,5(3) почмак; беренчесенең массасы 1,31 тапкырга күбрәк.

5.11. $G = \tau/\gamma = \sigma/(\,2\,\varepsilon\,)$. **5.12.** 60 *мм*.



5.1 мәсьәләгә

5.13. $E = 2 \cdot 10^5\ МПа$, $G = 8 \cdot 10^4\ МПа$, $\mu = 0{,}25$. **5.14.** 20,6 *кВт*.

5.15. 88 *мм*. **5.16.** 34,9 *МПа*. **5.17.** $n = 105$ *әйл/мин*. **5.18.** 72 *мм*.
5.19 Корыч вал 2,111 тапкырга авыррак.

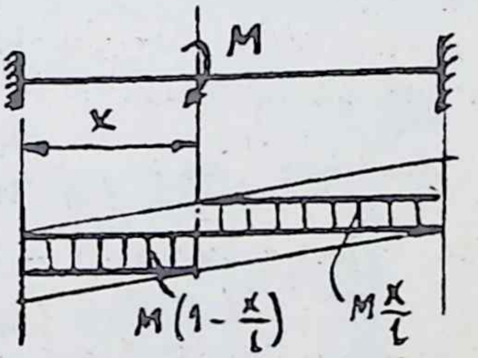
5.20. $I_p = \dfrac{\pi D^3 \delta}{4}$, $W_p = \dfrac{\pi D^2 \delta}{2}$.

5.21. Тоташ вал: $d = 1{,}69\ м$, $m = 175$ т; көпшә вал: $D = 1{,}86\ м$, $m = 107{,}7$ т. **5.22.** 8 *см*, $|\varphi_{max}| = 0{,}00872$. **5.23.** 5 *см*, 8 *см*, 7 *см*, 6 *см* $|\varphi|_{max} = 0{,}00807$; даими кисемле вал 1,47 тапкырга авыррак.
5.24. 90 *мм*. **5.25.** $\varphi = 0{,}125$. **5.26.** $D = 172$ *мм*, $d = 120$ *мм*, $M_К = 80$ *кНм*. **5.27.** 135 *мм*. **5.28.** Шпонканың буе 50 *мм*, иңе 15 *мм*, калынлыгы 14 *мм*, валның диаметры 60 *мм*.

5.29. $M_К^{max}\left\{ M\dfrac{x}{l}, M\left(1 - \dfrac{x}{l}\right)\right\}$. Бөтерү момент эпюры ике туры сызык арасында ята (рәсемне карагыз).

5.30. $M_К^{max}$ x зурлыгына бәйсез; $M_К^{max} = M$, $I{-}I$ кисемнең бөтерелү почмагы x ка бәйле:

$$\varphi_{I-I} = \frac{M\,x}{G\,I_p}.$$



5.29 мәсьәләгә

5.31. $|M_{max}| = \dfrac{M}{2}$, $d = 32$ *мм*, $|\varphi_{max}| = 0{,}02$.

5.32. $x = l\dfrac{1 - c^4}{2 - c^4}$. **5.33.** 6120 *Нм*, 4930 *Нм*.

5.34. $\varphi = \dfrac{32\,M_к l\,(d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2)}{3\pi G d_1^3 d_2^3} = 0{,}0058.$

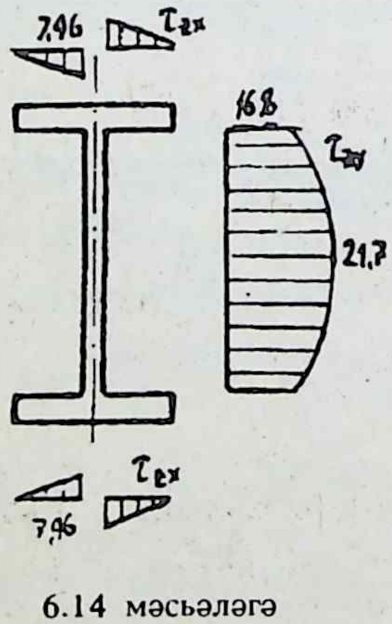
5.35. 16,8 *мм*, 6,7 *мм*, 317 *МПа*. **5.36.** $d = 4$ *мм*, $\lambda = 62$ *мм*.
5.37 $d = 257$*мм*, $D = 100$ *мм*, $n = 4$. **5.38.** 5.
5.39. 17 *мм*, $P_1 = 2{,}25$ *Н*, $P_2 = 7{,}75$ *Н*. **5.40.** 94 *мм*.
5.41. 5.39 нчы мәсьәләдәге кебек.

6. Яссы бөгү

6.1. —150 *МПа*. **6.2.** $a = \dfrac{b\,(b + 3\delta)}{b - \delta}$. **6.3.** $y = \dfrac{14}{15}x$; $\sigma_{max} = 42{,}8$ *МПа*. **6.4.** 10 *кН*. **6.5.** 8,5x8,5 *см*. **6.6.** 11 *см*. **6.7.** $d = 8{,}096$ *см*, 14 нче номерлы икетамга; түгәрәк кисемле балка 3,5 тапкырга авыррак. **6.8.** 29,3 процентка кими. **6.9.** Ике тапкырга кими. **6.10.** 1) 22; 2) 18x18 *см*; 3) 23,1 *см*; 4) 18,5 *см*; 5) 34x17 *см*; 6) 20; 7) 28x19 *см*; 8) 14 *см*; 9) 24; 10) 24; 11) 19x12 *см*; 12) 16x16 *см*; 13) 18; 14) 18а; 15) 29x14,5 *см*; 16) 20 *см*; 17) 18; 18) 23 *см*; 19) 24x24 *см*; 20) 26x14,5 *см*; 21) 29x12 *см*; 22) 22x27 *см*; 23) 12 *см*; 24) 20,5x17 *см*. **6.11.** 20а. **6.12.** 12.

6.13. $\tau = \dfrac{4}{3}\dfrac{Q}{bh}\left(2 + \dfrac{3y}{h} - \dfrac{9y^2}{h^2}\right)$, $\tau_{max} = \dfrac{3Q}{bh}$, $y_0^* = \dfrac{h}{6}$,

координат башы — кисемнең үзәгендә, димәк, τ_{max} өчпочмакның урта сызыгына туры килә.



6.14 мәсьәләгә

6.14. Орынма көчәнеш эпюрлары рәсемдә күрсәтелгән *(МПа)*.

6.15. $\tau_{zy\,max} = 22{,}2$ *МПа*, $\tau_{zx\,max} = 15{,}4$ *МПа*. $M_к = 937$ *Нм*.

6.16. $e = 6{,}75$ *см* (кисемнең уртасыннан үлчәнә).

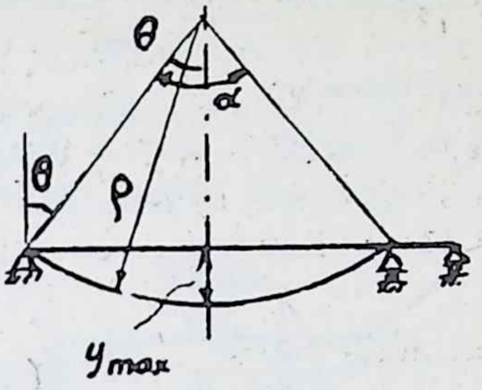
6.17. *а*) $e = \dfrac{4R}{\pi}$, *б*) $e = 2R$ (түгәрәк үзәгеннән үлчәнәләр).

6.18. Рәсемдә күрсәтелгәнчә.

6.19. №45.

6.20. $b_0 = \frac{1}{4}\frac{bh[\sigma]}{l\,[\tau]}$.

6.21. $H = \sqrt{\frac{6PL}{b\,[\sigma]}}$, $h(z) = \sqrt{\frac{6Pz}{b\,[\sigma]}}$.



6.23 мәсьәләгә

6.23. Балка саф бөгү халәтендә тора, чөнки $M(z) = M = \text{const}$.

Димәк, кәкрелек зурлыгы да даими була:

$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} = \text{const}$ һәм балканың күчәре әйләнә дугасына әверелә. Рәсемнән күренгәнчә,

$$\alpha = \frac{l}{\rho} = \frac{Ml}{EI} \quad \text{һәм}$$

$$\theta = \frac{ML}{2EI}, \quad y_{max} = \rho\,(1 - \cos\theta) = \rho\,\frac{\theta^2}{2} = \frac{EI}{2M}\left(\frac{Ml}{2EI}\right)^2 = \frac{Ml^2}{8EI}.$$

6.24. —6,25 *мм*, —1,1 *мм.* **6.25.** 9,6 *кН*. **6.26.** —7,8 *мм.*

6.27. $-\frac{5ql^4}{384EI}$.

6.28. $y_{max} = -\,0{,}1975\,Pl^3/(EI)$, $y(l/2) = -0{,}1967\,Pl^3/(EI)$.

6.29. $y_{max} = -\,2{,}86\,qa^4/(EI)$, $y(l/2) = -\,2{,}85\,qa^4/(EI)$.

6.30. $y_{max} = Ml^2/(32EI)$, $y(l/2) = 0$.

6.31. 23x23 *см*; $y_{max} = -\,6{,}43$ *мм*; $\theta_{max} = -\,0{,}00786$.

6.32. $y_{max} = -\,qa^4/(EI)$, $\theta_{max} = -\,7qa^3/(24EI)$. **6.33.** $x = \frac{l}{4}$.

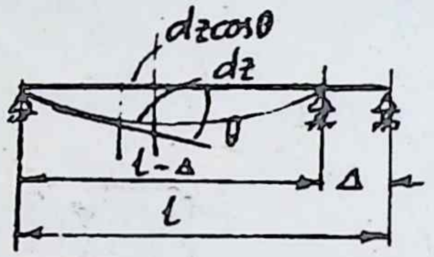
6.34. 14. **6.35.** $P_1 = \frac{2}{3}P$. **6.36.** $P = \frac{7}{32}ql$. **6.37.** $\varepsilon_{max} = \frac{h}{l^2}y_{max}$.

6.38. $\varepsilon_{max} = \frac{h}{(l-a)^2}y_{max}$.

6.39. $\Delta = 2{,}47\,f^2/l$. Бөгелү вакытында балканың озынлыгы үзгәрми, ләкин озынлыкның горизонталь проекциясе Δ зурлыгына кыскара. Рәсемдә озынлык элементы dz һәм аның проекциясе $dz\cos\theta$ күрсәтелгән. Аларның аермасы $dz - dz\cos\theta = dz\,(1 - \cos\theta)$. Шул

аермаларны балка буйлап җыйсак (балка буйлап анык интеграл алсак), уң терәкнең сулга таба күчешен табарбыз — ул Δ дип билгеләнгән:

$$\Delta = \int_0^l dz\,(1-\cos\theta) = \int_0^l (2\sin^2\theta/2)dz = \int_0^l 2\,(\theta/2)^2 dz = \int_0^l (\theta^2/2)dz.$$



6.39 мәсьәләгә

Интеграл билгесе астына куяр өчен, борылыш почмагы аңлатмасын табыйк:

$$EIy'' = M\,(z) = \frac{ql}{2}z - \frac{qz^2}{2};$$

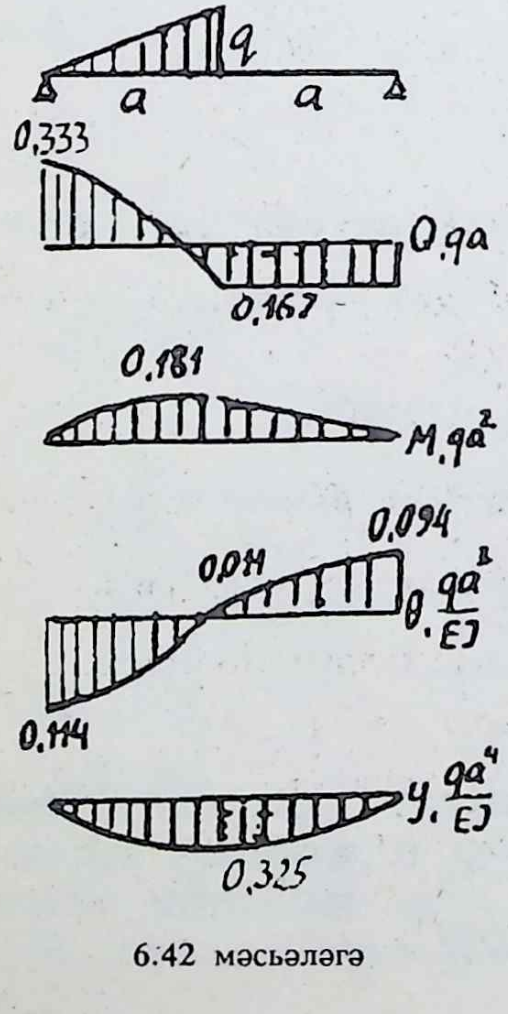
$$EIy' = \frac{qlz^2}{2\;2} - \frac{qz^3}{6} + C.$$

Интеграл алу константасын мондый шарттан табабыз. Балканың уртасында бөгелеш максималь зурлыгына ия булу сәбәпле, ул кисемдә ($z = l/2$ чакта) борылыш почмагы нульгә тиң:

$$0 = \frac{qll^2}{2\;8} - \frac{ql^3}{48} + C\,;\; C = -\frac{ql^3}{24};$$

$$\theta = \frac{1}{EI}\left(\frac{qlz^2}{4} - \frac{qz^3}{6} - \frac{ql^3}{24}\right) =$$

$$= \frac{ql^3}{24EI}\left[6\left(\frac{z}{l}\right)^2 - 4\left(\frac{z}{l}\right) - 1\right],$$



6.42 мәсьәләгә

шушы аңлатманы интеграл билгесе астына кертеп, интегралны алгач, максималь бөгелеш $f = \dfrac{5ql^4}{384EI}$ икәнен искә төшереп, күчеш зурлыгын табабыз: $\Delta = 2{,}47\,f^2/l$ **6.40.** $2{,}4f^2/l$, $2{,}67\,f^2/l$. **6.41.** $f/l = 0{,}06$. **6.42.** Рәсемдәге эпюрларны карагыз. Универсаль тигезләмәне төзегәндә, уң бүлемтектә таралган көчне өстәргә һәм өстәлгән көчне аскы яктан компенсацияләргә кирәк. **6.43.** $s_1 : s_2 = 3:2$.

6.45. $Pl^3/(2EI)$. **6.46.** $\varepsilon_{maz} = \frac{h}{l^2} y_{\max}$. **6.47.** $[\sigma]/[f] = 12Ey_{\max}/l^2$.

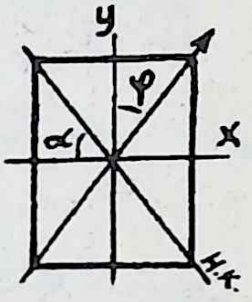
6.48. а) $\frac{[\sigma]}{[f]} = \frac{9{,}6\ Ey_{\max}}{l^2}$; *б*) $\frac{[\sigma]}{[f]} = \frac{3\ Ey_{\max}}{l^2}$. **6.49.** 1,77 *мм.*

6.50. $m = 76{,}9$ *кг.* **6.51.** 1,55*см.* **6.52.** 70,6 *кН.* **6.53.** 331 *кН.*

7. Катлаулы каршылык

7.1. 12,5x20 *см,* 12,4 *мм,* вертикальдән $55{,}9^\circ$.

7.2. 9,7x19,4 *см.*



7.4 мәсьәләгә

7.3. Иң чыдамлысы —

а очрагы: $\sigma^{a}_{\max} = \frac{6M}{bh^2}$;

б очрагында $\sigma^{б}_{\max} = \frac{6M}{b^2h}$;

в очрагында $\sigma^{в}_{\max} = \frac{6M}{b^2h}\sqrt{\frac{h^2+b^2}{h^2}} > \sigma^{б}_{\max}$,

димәк, бу — иң куркынычлы очрак.

7.4. $tg\,\alpha = \frac{I_x}{I_y} tg\,\varphi$;

а) $tg\,\varphi = \frac{b}{h}$, $tg\,\alpha = \frac{h}{b}$, нейтраль сызык икенче диагональ аша үтә;

б) икетамга өчен беренче формула буенча исәпләргә кирәк. Мәсәлән, 20 нче номерлы икетамга өчен

$$\varphi = arctg\frac{b}{h} = 26{,}6^\circ \text{ булса, } \alpha = 83^\circ.$$

7.5. Юк, ләкин максималь көчәнеш шулай да авышу почмагына бәйле. 7.6. $\varphi = arctg\frac{W_x}{W_y}$. 7.7. а) кыек бөгелү; б) туры бөгелү.

7.8. Чыдамлыкның да, катылыкның да шартлары үтәлми.

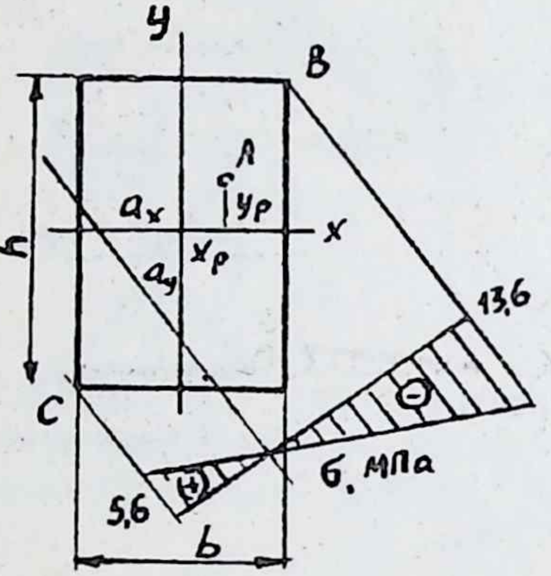
7.9. а) $\sigma^{a}_{\max} = 24M/b^3$; б) $\sigma^{б}_{\max} = 0{,}894\,\sigma^{a}_{\max}$.

7.10. 1,5 тапкырга арткан, димәк, запас калмаган.

7.11. а) $b = 15$ *см*, $h = 19{,}75$ *см*; б) 15,2 *см* һәм 19,85 *см.*

7.12. 23x46 *см,* 7,57 *мм.* 7.13. 14.

7.14. а) $a_y = \infty$ (үзәк сызык юк); б) $a_y = -2h/3$; в) $a_y = -h/6$. **7.15.** Үзгәрми. **7.16.** 166,7 *МПа*, 125 *МПа*. **7.17.** 21,2 *МПа*, 49,5 *МПа* (кысылу) һәм 7,09 *МПа* (сузылу). Чыдамлык шарты үтәлми. **7.18.** Ромб, аның диагональләре 13,72 һәм 1,72 *см*. **7.19.** $a_1 = 0{,}225\,a$ яклы алтыпочмак (төп алтыпочмакка карата 90° ка борылган). **7.20.** 9 *МПа*, 107,5 *МПа*.



7.23 мәсьәләгә

7.21. $b_1 = \dfrac{3b}{8\sqrt{3}}$ яклы өчпочмак.

7.22. 1) 158 *МПа*; 2) 173,8 *МПа*.

7.23. Нейтраль сызык тигезләмәсе

$$\frac{x}{a_x} + \frac{y}{a_y} = 1, \text{ моннан}$$

$$a_x = -\frac{i_y^2}{x_P} \text{ һәм}$$

$$a_y = -\frac{i_x^2}{y_P},\ i_x^2 = \frac{h^2}{12} = \frac{15^2}{12} = 18{,}75\ см^2,$$

$$i_y^2 = \frac{b^2}{12} = \frac{10^2}{12} = 8{,}33\ см^2.$$

$$\sigma_B = -\frac{P}{F} - \frac{M_x}{W_x} - \frac{M_y}{W_y} = -\frac{P}{F} - \frac{Py_P}{W_x} - \frac{Px_P}{W_y};$$

$$F = bh = 10\cdot 15 = 150\ см^2,\ W_x = bh^2/6 = 375\ см^3,$$

$$W_y = b^2h/6 = 250\ см^3;\ \sigma_B = -13{,}6\ МПа,\ \sigma_C = 5{,}6\ МПа.$$

7.24. $A = 112$ *мм*, $P = 218$ *кН*.

7.25. $\sigma_{max} = 7{,}2\dfrac{P}{\pi d^2}$, 80 процентка.

7.26. 50 *мм*. Вал бөтерелә һәм ике яссылыкта бөгелә. Бөтерү һәм бөгү моментлары эпюрларын төзик. Шкивлар арасында бөтерү моменты барлыкка килә:

$$M_к = \frac{N}{\omega} = \frac{30N}{\pi n} = 383\ Нм.$$

Бөтерү моменты эпюры рәсемдә күрсәтелгән. Каешларны суза торган көчләрне билгелибез:

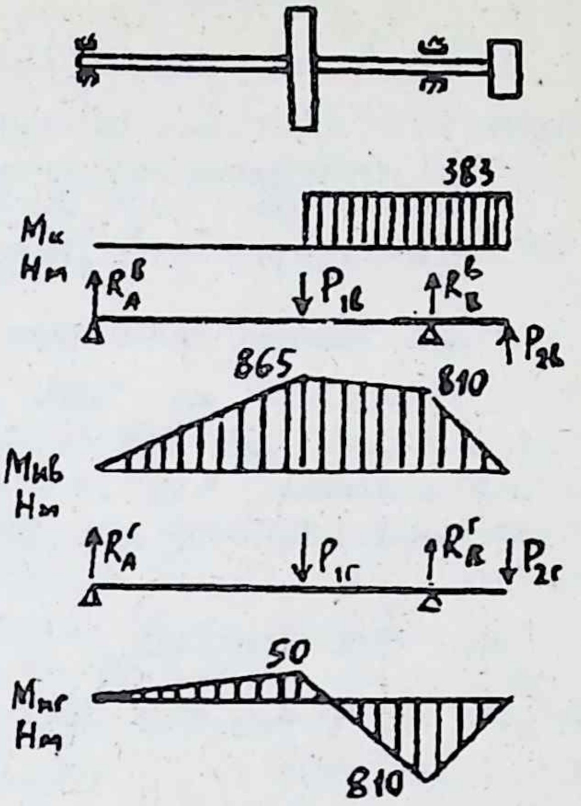
$$2t_1 \frac{D_1}{2} - t_1 \frac{D_1}{2} = M_к =>$$

$$t_1 = \frac{2M_к}{D_1} = 1280\ Н;$$

Шкивларга куелган $3t_1$ һәм $3t_2$ көчләре валны ике яссылыкта бөгәләр. Вертикаль һәм горизонталь көчләр:

$$P_{1в} = 3t_1 \sin 30^o = 1920\ Н,\ P_{2в} = $$
$$= 3t_2 \sin 45^o = 4050\ Н;$$

$$P_{1г} = 3t_1 \cos 30^o = 3330\ Н,$$
$$P_{2г} = P_{2в} = 4050\ Н.$$



7.26 мәсьәләгә

Вертикаль яссылыктагы бөгү моменты эпюрын төзик. Башта терәк реакцияләрен билгелибез:

$$\sum M_B = 0\ = R_A = 1730\ Н;\ \sum M_A = 0\ = R_b = -\ 3860\ Н.$$

Табылган реакцияләрнең дөреслеген тикшерәбез:

$$\sum Y = R_A + R_B - P_{1в} + P_2 = 1730\ -3860 + 1920 + 4050 = 0.$$

Табылган реакцияләрне кулланып, $M_{ив}$ эпюрын төзибез (рәсемдә күрсәтелгән).

Шул ук тәртиптә горизонталь яссылыктагы бөгү моменты эпюрын төзибез. Эпюрлардан күренгәнчә, куркынычлы кисем я B, яки C кисеме. Аларның икесендә дә бөтерү моменты зурлыгы бердәй, тулы бөгү моментларын чагыштырып карыйк.

$$B\ кисемендә\ M_и = \sqrt{M_{ив}^2 + M_{иг}^2} = 1150\ Нм,$$

$$С\ кисемендә\ M_и = \sqrt{M_{ив}^2 + M_{иг}^2} = 866\ Нм$$

Димәк, куркынычлы кисем B кисеме булып чыга. Шул кисемдәге эквивалентлы моментны табабыз:

$$M_{экв}^{III} = \sqrt{M_и^2 + M_к^2} = 1210\ Нм.$$

Хәзер инде чыдамлык шартыннан валның диаметрын табабыз:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_{экв}^{III}}{\pi[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32\cdot 1210}{\pi\cdot 100\cdot 10^6}} = 4{,}96\cdot 10^{-2}\ м = 4{,}96\ см$$

Нәтиҗәдә валның диаметрын $d = 50$ *мм* дип билгелибез.

7.27. 57 *мм*; 55 *мм*. 7.28. 22,5 *МПа*; 37 *МПа*. 7.29. 63 *мм*. 7.30. 3,2 *мм*. 7.31. 415 *Н*. 7.32. 0,222 *м* (үзәк кысу көчәнешен исәпкә алмыйча). 7.33. 14,4 *мм*. 7.34. 119,3 *МПа*. 7.35. 33,7 *мм*. 7.36. 31 *мм*. 7.37. 55 *мм*. 7.38. 52 *мм*, 55 *мм*, 55 *мм*.

8. Энергетик методлар

8.1. 0,735 *мм*. 8.2. $Pl^3/(3EI)$. 8.3. 2 *см*; 0,05 һәм 0,25 процент.

8.4. $-Pa^3/(EI)$.

8.5. а) $-17Pa^3/(6EI)$; б) $-14Pa^3/(9EI)$; в) $Pa^3/(96EI)$

8.6. $y_A = -5Pa^3/(6EI)$; $y_B = -8Pa^3/(3EI)$.

8.7. $-3Ma/(4EI)$. 8.8. $8Ma/(15EI)$.

8.9. $-ql^4/(8EI)$; $-ql^3/(6EI)$. 8.10. $2PR^3/(EI)$; өскә.

8.11. $2PR^3/(EI)$; $-PR^3/(2EI)$.

8.12. $-\dfrac{17qa^4}{24EI}$; $-\dfrac{5qa^3}{12EI}$.

8.13. $P = 31{,}4\ кН$; $p = 15{,}7\ кН/м$.

8.14. $\dfrac{Pa^3}{EI}$. 8.15. $28{,}5\cdot 10^{-3}$ *радиан*. 8.16. 2 *мм*.

8.17. $4{,}48\dfrac{PR^3}{EI}$. 8.18. $\dfrac{\pi R^3}{2EI}$; $-\dfrac{2PR^3}{EI}$. 8.19. 1,318 *Н/м*.

8.20. $\dfrac{Elh^3}{3\pi R^3 n}$. 8.21. $0{,}433\dfrac{Ebh^3}{R^3}$. 8.22. $0{,}0177\dfrac{Ebh^3}{R^3}$.

8.23 $-\dfrac{5Pa^3}{6EI}$; $-\dfrac{Pa^2}{2EI}$. 8.24. $-\dfrac{Pl^3}{48EI}$. 8.25. $-\dfrac{ql^4}{8EI}$; $-\dfrac{5ql^4}{384EI}$.

8.26. $\frac{ql^3}{6EI}$; $-\frac{ql^3}{24EI}$. 8.27. 0. 8.28. $y_A = \frac{Pa^3}{2EI}$.

8.29. $\theta_C = \frac{qa^3}{4EI}$; $\theta_y = -\frac{qa^3}{12EI}$. 8.31. Аралары үзгәрми. 8.32. —12,5 *мм.*

8.33. 14. 8.34. а) 14а, —7,3 *мм*, —0,00178; б) 10, 0, —0,00479; в) 6,5, —30 *мм*, 0,00859.

8.35. $5Pa^3/(6\sqrt{2}EI)$.

8.36. $\lambda = \frac{8PD^3n}{Gd^4}(\cos^2\alpha + 1{,}6\sin^2\alpha)/\cos\alpha$, $\alpha = 5{,}7^{\circ}$ булганда кулланыла торган формула 0,01 зурлыктагы төгәлсезлеккә китерә.

8.37. а) —2,33 *мм*, —0,67 *мм*, 0,000333; б) —1 *мм*, 0, 0,0002; в) 2 *мм*, 1,33 *мм*, —0.0002; г) —2 *мм*, 8 мм, 0,0008; д) —2,46 *мм*, 9,42 *мм*, 0,000542; е) 0, —3,33 *мм*, —0,0002; ж) —14,8 *мм*, —12,8 *мм*, 0,00163; з) —2,7 *мм*, 0, —0,000133; и) 0, —2 *мм*, 0,0002; к) 0, 2 *мм*,0,0001.

9. Статик билгеләнмәгән системаларны исәпләү

9.1. Балканың терәк реакцияләрен M_A, R_A, R_B, H_A дип билгеләп, бөгелгән күчәр өчен универсаль тигезләмәне язабыз:

$$EIy = EIy_0 + EI\theta_0 z + \frac{M_A z^2}{2!} + \frac{R_A z^3}{3!} - \frac{qz^4}{4!}\Big|_I + \frac{M(z-l)^2}{2!}\Big|_{II} +$$

$$+ \frac{R_B(z-2l)^3}{3!} + \frac{q(z-2l)^4}{4!}\Big|_{III}.$$

Бу тигезләмәгә 5 билгесез зурлык кергән: ике башлангыч параметр y_0, θ_0 һәм өч терәк реакциясе. Чик шартларыннан файдаланып, мондый өч тигезләмә төзибез:

$z = 0$ булганда, $\theta = 0$ һәм $y = 0$

$z = 2l$ булганда, $y = 0$.

Беренче ике шарттан $EIy_0 = EI\theta_0 = 0$, өченче шарт мондый тигезләмә бирә:

$$2M_A l^2 + \frac{4R_A l^3}{3} - \frac{2ql^4}{3} + \frac{Ml^2}{2} = 0.$$

Тигезләмәне, кыскартып һәм $M = ql^2$ икәнен исәпкә алып, болай итеп яңадан язабыз: $12M_A + 8R_A l = ql^2$. (1)

Тагын ике тигезләмәне статика шартларыннан табабыз:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow M_A - 2R_Bl = 0; \quad (2)$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow M_A + 2R_Al - 2ql^2 = 0. \quad (3)$$

Хәзер, (1), (2), (3) тигезләмәләр системасын чишеп, терәк реакцияләрен табабыз:

$$R_B = -\frac{7}{16}ql, \; R_A = \frac{23}{16}ql, \; M_A = -\frac{7}{8}ql^2.$$

Табылган реакцияләрне $\sum Y = 0$ тигезләмәсеннән тикшерәбез.

Менә хәзер Q һәм M эпюрларын төзеп була инде (аларны төзү тәртибе безгә мәгълүм булганга, биредә моңа тукталып тормыйбыз, тик берничә характерлы нокталарга гына игътибар итик). Аркылы көчнең нульгә әйләнгән кисеме z^* (анда бөгү моменты максималь булырга тиеш):

$$Q(z^*) = 0 \Rightarrow R_A - qz^* = 0 \Rightarrow z^* = \frac{R_A}{q} = \frac{23}{16}l.$$

Шул кисемдәге бөгү моменты $M(z^*) = 1{,}16ql^2$.

Бөгү момент эпюрыннан

$$M_{\max} = 1{,}16\, q\, l^2 = 1{,}16 \cdot 10 \cdot 2^2 = 46{,}4 \; кНм.$$

Хәзер чама белән балканың бөгелгән күчәрен төзик, шул эпюрдан күренгәнчә, балканың максималь бөгелеше аның уң очына туры килергә тиеш. Аны универсаль тигезләмәдән билгелик:

$$EIy_{\max} = \frac{M_A(3l)^2}{2} + R_A\frac{(3l)^3}{6} - \frac{q(3l)^4}{24} +$$

$$+ \frac{M(2l)^2}{2} + \frac{R_B l^3}{6} + \frac{q l^4}{24} = \frac{9}{8}ql^4; \; y_{\max} = \frac{9}{8}\frac{ql^4}{EI}.$$

Чыдамлык һәм катылык шартларыннан балканың аркылы кисемен билгелибез. Чыдамлык шартыннан

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \le [\sigma],$$

$$W_x = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{46{,}4 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 290 \; см^3.$$

Бу 24 нче номерлы икетамга булырга тиеш.

Катылык шартыннан

$$y_{max} = \frac{9}{8}\frac{ql^4}{EI} \leq [y] =>$$

$$I_x = \frac{9ql^4}{8E[y]} = \frac{9\cdot 10\cdot 10^3\cdot 2^4}{8\cdot 2\cdot 10^{11}\cdot 5\cdot 10^{-3}} = 18000\ см^4.$$

Балкабыз 40 нчы номерлы икетамга булырга тиеш. Ике шартын да канәгатьләндерер өчен, балканың зуррагын алырга кирәк. Шулай итеп, исәпләү нәтиҗәсе: икетамгалы балканың номеры — 40.

9.2. Җавапларда терәк реакцияләре зурлыклары китерелгән (сулдан уңга таба, көчләр — ql, моментлар — ql^2):

а) $\frac{3}{16}ql, -\frac{7}{8}ql, \frac{43}{16}ql$; б) $\frac{3}{4}ql^2, -\frac{9}{8}ql, \frac{25}{8}ql$;

в) $\frac{9}{8}ql, \frac{15}{7}ql, -\frac{9}{8}ql^2$;.

г) $\frac{3}{16}ql, \frac{17}{8}ql, -\frac{37}{16}ql$; д) $\frac{1}{2}ql^2$; $-\frac{3}{2}ql, \frac{5}{2}ql$; е) $\frac{10}{27}ql, \frac{44}{27}ql, \frac{8}{9}ql$;

ж) $\frac{19}{16}ql, -\frac{7}{8}ql, \frac{11}{16}ql$; з) $-\frac{3}{32}ql^2, \frac{3}{64}ql, \frac{124}{64}ql$;

и) $-\frac{14}{27}ql, -\frac{25}{54}ql^2, \frac{68}{27}ql$;

к) $-\frac{3}{16}ql, \frac{17}{8}ql, -\frac{5}{16}ql$; л) $-ql^2, 2ql, 0$; м) $\frac{25}{8}ql, -\frac{9}{8}ql,$

$\frac{3}{4}ql^2$; н) $-\frac{3}{16}ql, \frac{3}{8}ql, \frac{7}{16}ql$; о) $\frac{1}{2}ql^2, -\frac{1}{4}ql, \frac{17}{4}ql$; п) $3ql, -ql, 0$;

р) $-\frac{33}{16}ql, \frac{23}{8}ql, -\frac{25}{16}ql$; с) $\frac{1}{2}ql^2, 2ql, ql$;

т) $\frac{137}{64}ql, -\frac{9}{64}ql, -\frac{23}{32}ql^2$.

9.3. A терәгендә горизонталь бәйне алып ташлап, төп системаны төзибез ($а$). Төп системага бирелгән йөкләрне (P) һәм алып ташланган бәйләрнең реакцияләрен (X_1) куеп, эквивалент системага киләбез ($б$). Каноник тигезләмәне (ул бу очракта бер генә) язабыз:

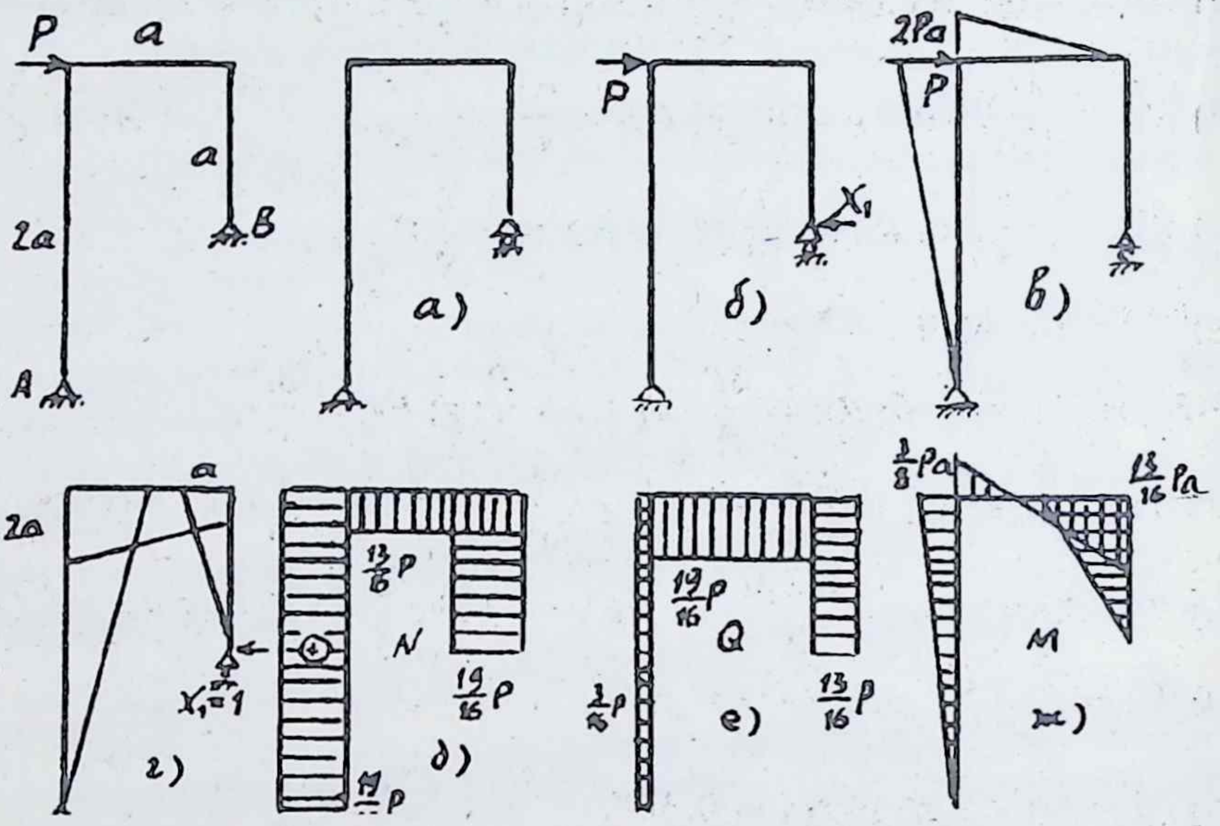
$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1P} = 0.$$

Тигезләмәнең коэффициентларын билгеләү өчен кирәкле эпюрлар төзибез ($в$ һәм $г$).

Эпюрларны тапкырлап, коэффициентларны табабыз:

$$EI\delta_{11} = \frac{1}{2}\cdot 2a\cdot 2a\cdot\frac{2}{3}\cdot 2a + \frac{1}{2}\cdot a\cdot a\cdot\frac{2}{3}a + a\cdot a\cdot\frac{3}{2}a + \frac{1}{2}\cdot a\cdot a\cdot\frac{5}{3}a = \frac{16}{3}a^3;$$

$$EI\Delta_{1P} = -\frac{1}{2}\cdot 2Pa\cdot 2a\cdot\frac{2}{3}2a - \frac{1}{2}\cdot 2Pa\cdot a\cdot\frac{5}{3}\cdot a = -\frac{13}{3}Pa^3.$$



9.3 мәсьәләгә

Каноник тигезләмәне чишеп, билгесез реакцияне табабыз:

$$\frac{16}{3}a^3 X_1 - \frac{13}{3}Pa^3 = 0, \; X_1 = \frac{13}{16}P.$$

Табылган реакция белән эквивалентлы системага кайтып, калган реакцияләрне дә билгелибез:

$$H_A = P - X_1 = \frac{3}{16}P;$$

$$\sum M_B = 0, \; R_A\cdot a + H_A\cdot a + P\cdot a = 0, \quad R_A = -\frac{19}{16}P;$$

$$\sum M_A = 0, \; -R_B\cdot a - X_1\cdot a + P\cdot 2a = 0, \quad R_B = \frac{19}{16}P.$$

Шуннан соң N, Q, M эпюрларын төзибез (*д*, *е*, ж).

9.4. a) $R_B = \frac{3}{28} qa$; б) $\frac{9}{8} P$; в) $H_B = \frac{31}{48} qa$;

г) $R_A = -\frac{M}{4a}$; д) $R_B = 0$;

е) $H_b = -\frac{P}{2}$; ж) $R_B = -\frac{9}{8}\frac{M}{a}$; з) $H_B = \frac{P}{5}$; и) $R_b = \frac{3}{7} P$; к) $H_B = \frac{P}{4}$;

л) $H_B = \frac{M}{12a}$; м) $R_B = 0$; н) $H_B = \frac{qa}{6}$; о) $H_B = -\frac{P}{2}$; п) $H_B = \frac{5}{8}\frac{M}{a}$;

р) $R_A = -\frac{P}{4}$; с) $R_A = \frac{3}{10} P$; т) $H_A = -\frac{3}{5} P$;

у) $H_B = 0$; ф) $H_A = 3P/5$.

9.5. a) $H_A = \frac{P}{\pi}$; б) $R_B = \frac{3P}{\pi}$; в) $Y_A = \frac{P}{2}$; г) $H_C = \frac{3P}{\pi}$;

д) $H_A = \frac{P}{\pi}$; е) $H_C = \frac{2M}{\pi R}$; ж) $R_B = \frac{M}{2R}$; з) $H_C = -\frac{P}{\pi}$;

и) $R_A = 0$; к) $R_B = \frac{2\sqrt{2}M}{R}$; л) $R_B = -P\sqrt{2}(\frac{1}{4} + \frac{1}{\pi})$; м) $R_B = \frac{P\sqrt{2}}{2}$;

н) $R_A = -\frac{P}{\pi - 2}$; о) $R_B = 0{,}309P$;

п) $R_B^{45^o} = 0{,}555P$; р) $R_B = 0{,}37P$.

9.6. 3; 5; 6; 4. 9.7. 12x12 *мм* həм 10x10 *мм.* 9.8. 10,5 *см.*

9.9. 1,69 $см^2$, 0,85 $см^2$; 0,85 $см^2$; 3,64 *мм.* 9.10. 20 *см,* 2,9 *мм.*

9.11. 12 *мм.* 9.12. $l = L_0/3$.

9.13. а)10, б)18, в)18, г)16, д)16, е)18, ж)18, з)18, и)27, к)18, л)227, м)18, н)18, о)20а, п)18, р)20, с)20, т)16, у)18, ф)18.

9.14. а) $M_A = \frac{qa^2}{14}$, $M_B = -\frac{qa^2}{7}$, $M_C = -\frac{qa^2}{2}$;

б) $M_A = -\frac{qa^2}{2}$, $M_B = -\frac{qa^2}{14}$, $M_C = -\frac{5}{7} qa^2$;

в) $M_A = -\frac{71}{68} qa^2$, $M_B = -\frac{11}{68} qa^2$, $M_C = -qa^2$;

г) $M_B = -\frac{2}{7}qa^2$, $M_C = \frac{qa^2}{7}$.

9.15. а) $M_B = M_C = -\frac{11}{54}Pa$; б) $M_B = M_C = -\frac{3}{20}Pa$;

в) $M_B = M_C = -\frac{M}{20}$.

9.16. а) $M_B = -M_C = \frac{M}{12}$; б) $M_B = -M_C = -\frac{Pa}{4}$; .

в) $M_B = -M_C = \frac{Pa}{4}$.

9.17. а) $M_A = M_B = -\frac{3Pa}{4}$, $y = -\frac{2}{3}\frac{Pa^3}{EI}$;

б) $M_A = -M_B = -\frac{3}{8}Pa$, $y = 0$; в) $M_A = M_B = \frac{M}{2}$, $y = \frac{3}{4}\frac{Ma^2}{EI}$;

г) $M_A = -M_B = \frac{M}{8}$, $y = 0$.

9.18. Симметрия яссылыгында:

а) $M = -\frac{Pa}{12}$, $N = -\frac{3}{8}P$, $y = \frac{7}{16}\frac{Pa^3}{EI}$;

б) $M = N = 0$, $Q = -\frac{6}{7}P$, $y = -\frac{Pa^3}{4EI}$;

в) $M = -\frac{qa^2}{36}$, $N = -\frac{5}{12}qa$, $y = \frac{1}{288}\frac{qa^4}{EI}$;

г) $M = \frac{Pa}{3}$, $N = -2P$, $y = \frac{1}{24}\frac{Pa^3}{EI}$; д) $M = \pm\frac{M}{2}$, $N = \frac{3}{14}\frac{M}{a}$,

$Q = -\frac{9}{14}\frac{M}{a}$, $y = 0$; е) $N = Q = 0$, $M = -\frac{Pa}{4}$, $y = \frac{Pa^3}{8EI}$;

ж) $N = M = 0$, $Q = -\frac{3}{4}\frac{M}{a}$, $y = 0$.

9.19. а) $-\frac{Pa^3}{8EI}$; б) $\frac{qa^4}{6EI}$.

10. Чикләмә халәт (күтәрү сәләте) методы нигезендә исәпләү

10.1. $[P] = 525\ кН$, $[P_{пл}] = 581\ кН$, $k = \dfrac{[P_{пл}]}{[P\ ]} = 1{,}11$.

10.2. $[P] = 920\ кН$, $[P_{пл}] = 1200\ кН$, $k = 1{,}31$; корыч таяк алданрак ага башлый.

10.3. а) $2{,}92\ см^2$, $5{,}84\ см^2$, $8{,}76\ см^2$ (рөхсәт ителгән көчәнеш нигезендә); $2{,}5\ см^2$, $5{,}0\ см^2$, $7{,}5\ см^2$ (чикләмә халәт методы нигезендә).

Рөхсәт ителгән көчәнеш нигезендәге чишүне гомуми көч методы белән үткәрик. Бирелгән системаның статик билгеләнмәгәнлеге дәрәҗәсе

$s = 3 \cdot n + r - 2 \cdot m - 3$, мондагы $n = 2$— ябык контурлар саны,

$r = 4/2 = 2$ — терәк реакцияләр саны (система симметрик булганга, аларның санын икегә бүләбез),

m — икенче дәрәҗәле шарнирлар саны, $m = 2$,

3 — статика тигезләмәләре саны, шуңа күрә

$$s = 3 \cdot 2 + 2 - 2 \cdot 2 - 3 = 1.$$

Төп системаны төзик. Аның өчен 2 нче таякны кисәбез (a), төп системага бирелгән көчне (P) һәм алып ташланган бәйнең билгесез реакциясен (X_1) куеп, эквивалентлы системага киләбез ($б$).

Каноник тигезләмәләр системасы бер тигезләмәдән генә тора:

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \Delta_{1P} = 0.$$

Тигезләмәнең коэффициентларын табу өчен, төп системага аерым-аерым берлекле көч (a) һәм тышкы көч ($б$) белән тәэсир итәбез һәм Мор интегралларыннан файдаланабыз.

Системаның таякларында берлекле көчтән килеп чыккан нормаль көчләр:

$$\bar{N}_1 = \frac{1}{2\cos 60^o} = 1,\ \bar{N}_2 = 1,\ \bar{N}_3 = -\frac{1}{2\cos 60^o} = -1;$$

тышкы көчтән килеп чыккан нормаль көчләр:

$$N_1 = \frac{P}{2\cos 60^o} = P,\ N_2 = N_3 = 0.$$

Мор интегралларын исәплибез:

$$\delta_{11} = 2\int_0^{l_1} \frac{\overline{N}_1 \overline{N}_1\, dz}{E_1F_1} + \int_0^{l_2} \frac{\overline{N}_2 \overline{N}_2\, dz}{E_2F_2} + 2\int_0^{l_3} \frac{\overline{N}_3 \overline{N}_3\, dz}{E_3F_3},$$

$$\Delta_{1P} = 2\int_0^{l_1} \frac{N_1 \overline{N}_1\, dz}{E_1F_1} + \int_0^{l_2} \frac{N_2 \overline{N}_2\, dz}{E_2F_2} + 2\int_0^{l_3} \frac{N_3 \overline{N}_3\, dz}{E_3F_3}.$$

Монда бирелгән, табылган зурлыкларның һәм аларның үзара бәйләлекләрен кертсәк, мондый нәтиҗәгә ирешәбез:

$$\delta_{11} = \frac{5{,}51\, a}{E_1F_1}, \Delta_{1P} = \frac{2{,}31\, Pa}{E_1F_1}; X_1 = -\frac{\Delta_{1P}}{\delta_{11}} = -0{,}42\, P.$$

Системаның таякларындагы нормаль көчләрне эквивалентлы система өчен статика тигезләмәләреннән табабыз:

$$N_1 = \frac{P + X_1}{2\cos 60^{\circ}} = P - 0{,}42P = 0{,}58P = 0{,}58 \cdot 60 = 34{,}8\ кН;$$

$$N_2 = X_1 = -0{,}42P = -0{,}42 \cdot 60 = -25{,}2\ кН;$$

$$N_3 = -\frac{X_1}{2\cos 60^{\circ}} = 0{,}42P = 25{,}2\ кН.$$

Хәзер таякларның аркылы кисем мәйданнарын табып була:

1) $F_1 = \dfrac{N_1}{[\sigma]_1}$, рөхсәт ителгән нормаль көчәнеш

$$[\sigma]_1 = \frac{\sigma_{T1}}{n} = \frac{240}{2} = 120\ МПа,$$ шуннан

$$F_1 = \frac{34{,}8 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^6} = 2{,}92 \cdot 10^{-4} м^2 = 2{,}92 см^2,$$

$$F_2 = 2\,F_1 = 5{,}84\ см^2,\ F_3 = 3\,F_1 = 8{,}76\ см^2,$$

2) $$F_2 = \frac{|N_2|}{[\sigma]_2} = \frac{25{,}2 \cdot 10^3}{60 \cdot 10^6} = 4{,}2 \cdot 10^{-4}\ м^2 = 4{,}2\ см^2,$$

$$F_1 = \frac{F_2}{2} = 2{,}1\ см^2;$$

$$F_3 = 3\,F_1 = 6{,}3\ см^2;$$

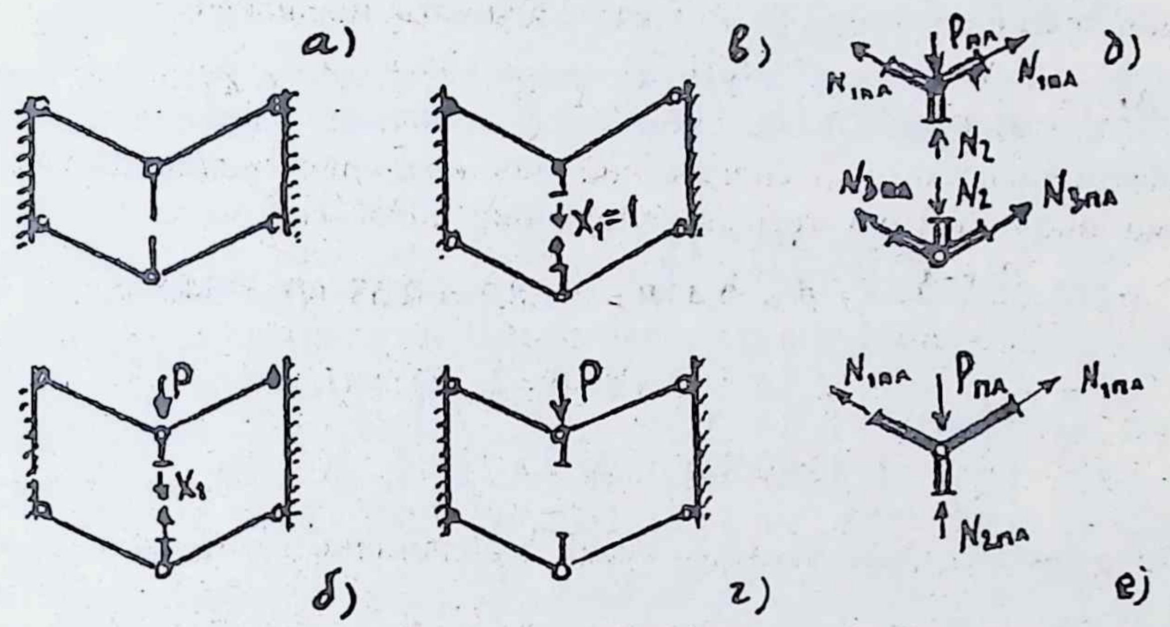
3) $$F_3 = \frac{N_3}{[\sigma]_3} = \frac{25{,}2 \cdot 10^3}{80} \cdot 10^{-4} = 3{,}15 \cdot 10^{-2}\ м^2 = 3{,}15\ см^2,$$

$$F_1 = \frac{F_3}{3} = 1{,}05\ см^2,\ F_2 = 2\ F_1 = 2{,}1\ см^2.$$

Бу өч вариантның берсен — мәйданнар иң зур булган очракны сайлап алабыз:

$$F_1 = 2{,}92\ см^2,\ F_2 = 5{,}86\ см^2,\ F_3 = 8{,}76\ см^2.$$

Чикләмә халәт методы нигезендәге исәпләүне үткәрик.



10.3 мәсьәләгә

Системаның чикләмә халәткә җитүенең ике варианты бар. Беренче вариант (*а*). Көч $P_{пл} = n\,P$ га якынлашканда, 1 нче һәм 3 нче таякларның аркылы кисемнәрендәге нормаль көчәнешләр агучанлык чигенә җитә.

Бу очрак өчен $2\,N_{1пл}\cos 60^o + N_2 = P,\ 2\,N_{3пл}\cos 60^o - N_2 = 0;$

$$N_{1пл} + N_{3пл} = P_{пл},$$

$$\sigma_{т1}\,F_1 + \sigma_{т3}\,F_3 = P \cdot n,$$

$$\sigma_{т1}\,F_1 + \sigma_{т3} \cdot 3\,F_3 = P \cdot n,$$

$$F_1 = \frac{P\,n}{\sigma_{т1} + 3\,\sigma_{т3}} = \frac{60 \cdot 2 \cdot 10^3}{(\,240 + 3 \cdot 160\,) \cdot 10^6} = 1{,}67 \cdot 10^{-4} м^2 = 1{,}67\,см^2,$$

$$F_2 = 2 \cdot F_1 = 2 \cdot 1{,}67 = 3{,}33\ см^2,\ F_3 = 3 \cdot F_1 = 3 \cdot 1{,}67 = 5\ см^2.$$

Икенче вариант (*б*). Чикләмә халәттә 1нче һәм 2 нче таяклардагы көчәнешләр агучанлык чигенә барып җитә. Бу очрак өчен

$$2 N_{1пл} \cos 60^{o} + N_{2пл} = P_{пл},$$

$$N_{1пл} + N_{2пл} = P \cdot n;$$

$$\sigma_{т1} F_1 + \sigma_{т2} \cdot 2 \cdot F_1 = P \cdot n;$$

$$F_1 = \frac{Pn}{\sigma_{T1} + 2\sigma_{T2}} = 2{,}5\ см^2,$$

$$F_2 = 2 \cdot F_1 = 5\ см^2,\ F_3 = 3 \cdot F_1 = 7{,}5\ см^2.$$

Икенче һәм өченче таяклар чикләмә халәткә бер үк вакытта барып җитә алмыйлар. Мөмкин булган ике вариантның берсен сайлап алабыз:

$$F_1 = 2{,}5\ см^2,\ F_2 = 5\ см^2,\ F_3 = 7{,}5\ см^2.$$

б) 1,86; 1,12 (бу һәм башка вариантлар өчен беренче таякның кисеме мәйданының зурлыклары гына китерелгән): в) 3,06; 2,5. г) 1,14; 1,12. д) 2; 1,67. е) 2,16; 2, 07. ж) 3,52; 2,07. з) 2,06; 1,67. и) 3,08; 1,77. к) 2,64; 1,95. л) 1,81; 1,25. м) 4,73; 2,54. н) 3,81; 1,61. о) 3,06; 2,62. п) 2,8; 0,78. р) 1,89; 1,75. с) 2,84; 1,67. т) 0,95; 0,88. у) 1,58; 1,13. ф) 2,86; 2,07. х) 1,9; 1,2. ц) 2,6; 1,35. ч) 1,88; 1,75. ш) 2,75; 1,49.

10.4. 76,7 *кН*.

10.5. $[P_{пл}] = (2\cos\alpha + 1)\sigma_т F/n$. Мөмкин, $\alpha = arccos\ \frac{l_1}{l_2}$ булганда $N_1 = N_2$.

10.6. $\pi D^2 \delta / 2$; боҗра бик нечкә булганда, ике каршылык моменты бердәй була. **10.7.** 40 *мм*.

10.8. Валларның күтәрү сәләтен чагыштырыйк: $k = \frac{M_{к\ пл}}{M_к} = \frac{W_{p\ пл}}{W_p}$.

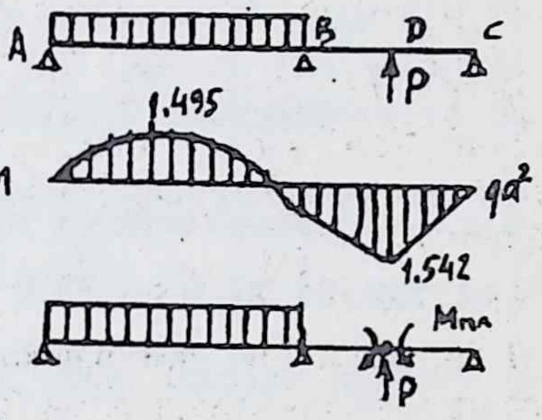
Тоташ вал өчен $k = \frac{4}{3}$, көпшә өчен $k = \frac{4}{3}\frac{(1 - c^3)}{(1 - c^4)}$, бик нечкә көпшә очрагында $k = 1$, димәк, чикләмә халәт методы нигезендә исәпләгәндә, көпшә кулلануның әллә ни файдасы юк. **10.9.** 209 *Нм*. **10.10.** 26,4 һәм 21,8 *мм*, чикләмә халәт нигезендә исәпләсәк, вал 1,46 тапкырга җиңелрәк була.

10.11. 3,77 *кНм*. **10.12.** Түгәрәк: $\frac{W_{пл}}{W_x} = \frac{D^3}{6} : \frac{\pi D^3}{32} = 1{,}7;$

квадрат: $\dfrac{W_{пл}}{W_x} = \dfrac{h^3}{4} : \dfrac{h^3}{6} = 1{,}5;$

икетамга (20 нче): $\dfrac{W_{пл}}{W_x} = \dfrac{2S_x}{W_x} = \dfrac{208}{184} = 1{,}13.$

10.13. 1600 *Н;* 2400 *Н.*
10.14. $W_{пл} = D^2\delta$. **10.15.** 12.
10.16. 14,24 *кН.*
10.17. $q_{пл} = 0{,}66\,\dfrac{\sigma_т W_{пл}}{na^2}.$



10.17 мәсьәләгә

Башта 3 момент тигезләмәсеннән файдаланып, балканың статик билгеләнмәгәнлеген ачыклыйбыз һәм бөгү моменты эпюрын төзибез. Эпюрдан күренгәнчә, беренче пластик шарнир *D* кисемендә барлыкка килә, көч $q_{пл}^{(1)} = M_{пл}/(1{,}54\,a^2)$ зурлыгына җиткәч була.

Көчләрне тагын да арттырганда $M_D = -M_{пл} = \text{const}$ булып кала, димәк, хәзер балканы статик билгеләнгән дип карарга ярый. Икенче пластик шарнир я *B* кисемендә, я *E* кисеме тирәсендә барлыкка килә. Шул икенче пластик шарнирдагы бөгү моменты $M_{пл}$ моментына тигез булу шартыннан балканы эштән чыгара торган йөкне табабыз. Статика тигезләмәләреннән реакцияләрне табыйк:

$$\sum M_{Dуң} = 0;\ -M_{пл} + R_C\cdot a = 0 \ \Rightarrow\ R_C = \frac{M_{пл}}{a};$$

$$\sum M_{Dсул} = 0;\ R_{A}4a - 4qa\cdot 2a + R_C\cdot a - 2qa^2 = 0.$$

Шуннан $R_A = 2{,}5q_{пл}\,a - \dfrac{M_{пл}}{2a}$, $R_B = \dfrac{3}{2}\dfrac{M_{пл}}{a} - \dfrac{q_{пл}a}{2}$, $R_C = \dfrac{M_{пл}}{a}.$

B кисемендәге бөгү моменты $M = -M_{пл}$ шартыннан

$$M_B = -R_C\cdot 2a + 2q_{пл}a^2 = -M_{пл},\ q_{пл} = 0{,}5\,M_{пл}/a^2.$$

Йөкнең бу зурлыгы безне канәгатьләндерми, чөнки ул $q_{пл}^{(1)}$ дан да ким. *E* кисеме тирәсендәге максималь моментны пластик шарнир моментына тигезләп, $R_A\cdot z^* - q_{пл}\,z^{*2}/2 = M_{пл}$,

$q_{пл}$ зурлыгын табабыз:

$$z^* = 2{,}5a - \frac{M_{пл}}{2q_{пл}a};\ q_{пл} = 0.66\,\frac{M_{пл}}{a^2};\ \text{шуннан}\ \ [q_{пл}] = 0{,}66\,\frac{\sigma_т W_{пл}}{na^2}.$$

10.18. $d = 18$ *мм*. **10.19.** а) 12; 32,4 *кН*; б) 12; 32,4 *кН*; в) 12; 47.1 *кН/м*; г) 16; 29,9 *кН*; д) 14; 37,4 *кН;* е) 14; 30 *кН;* ж) 14; 39,9 *кН*; з) 18; 43,7 *кН*; и) 10; 29,4 *кН;* к) 18; 33,4 *кН*; л) 16; 13,3 *кН/м*; м) 12; 43,1 *кН/м*; н) 14; 37,4 *кН*; о) 12, 27 *кН*; п) 14; 43,6 *кН/м*; р) 14; 30 *кН;* с) 14; 30 *кН*; т) 16; 29,9 *кН;* у) 20; 13,8 *кН*; ф) 14; 15 *кН*; х) 20; 20 *кН*. **10.20.** а) 11,09 *кН/м*; б) 7,68 *кН/м*.

11. Кысылган борысларның тотрыклылыгын исәпләү

11.1 а) 100; б) 57,3; в) 75,9; г) 111; д) 81,1. **11.2.** $\frac{b}{h} = 0{,}35.$

11.3. Түгәрәк кисемле таяк 2,3 процентка бөгелүчәнрәк.

11.4. $P_{кр} = 90{,}6$ *кН*, $\sigma_{кр} = 33{,}8$ *МПа*; башта Эйлер формуласын куллану шартын тикшерегез. **11.5.** 115 *МПа*, 16,44 *МПа*.

11.6. 250 *МПа*, 220 *МПа*, 137 *МПа*. **11.7.** 43,3 *кН*.

11.8. а) 110°*С*, б) 146°*С*, в) 136°*С*. **11.9.** 31,4 процент.

11.10. $n = 2{,}26$, $n_у = 2{,}9$. **11.11.** 1528 *кН*, 849 *кН*. **11.12.** 317 *кН*.

11.13. 146 *кН*. **11.14.** 103 *мм*. Мәсьәлә акрынлап якынлашу методы белән φ коэффициенты таблицасын кулланып чишелә. Коэффициентның башлангыч зурлыгын 0,5 кә тигез дип алабыз: $\varphi_1 = 0{,}5$; рөхсәт ителгән көчәнешне табабыз:

$[\sigma]_у = \varphi_1\ [\sigma] = 0{,}5 \cdot 10 = 5$ *МПа*.

Хәзер аркылы кисемнең мәйданын табып була:

$$F = \frac{P}{[\sigma\,]_у} = \frac{60 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^6} = 120 \cdot 10^{-3}\ м^2 = 120\ см^2.$$

Квадратның ягы $a = \sqrt{F} = 10{,}95$ *см*, инерция радиусы

$$i_{\min} = i_x = i_y = \frac{a}{\sqrt{12}} = 3{,}16\ см.$$

Таякның бөгелүчәнлеге $\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{0{,}7 \cdot 300}{3{,}16} = 66{,}5.$

Бөгелүчәнлекнең шушы зурлыгына туры китереп, φ коэффициентын табабыз, аның өчен сызыкча интерполяция кулланабыз;

λ зурлыгы 60 һәм 70 арасында, φ 0,71 һәм 0,6 арасында булырга тиеш, аны болай табабыз:

$$\begin{array}{ll} \lambda = 60 & \varphi = 0{,}71 \\ \lambda = 70 & \varphi = 0{,}60 \\ \hline 10 \rightarrow & 0{,}11 \\ 6{,}65 \rightarrow & x \end{array}$$

$$x = \frac{6{,}65 \cdot 0{,}11}{10} = 0{,}0715, \ \varphi = 0{,}71 - 0{,}0715 = 0{,}638.$$

Табылган φ зурлыгын башлангыч зурлык белән чагыштырабыз:

$$\delta = \frac{\varphi - \varphi_1}{\varphi} \cdot 100 = \frac{0{,}638 - 0{,}5}{0{,}5} \cdot 100 = 27{,}66\ \% > 5\ \%,$$

шуңа күрә, коэффициентның кыйммәтен төзәтеп:

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi}{2} = \frac{0{,}5 + 0{,}638}{2} = 0{,}569,$$

исәпләүне шул ук тәртиптә кабатлыйбыз:

$$[\sigma]_y = 5{,}69\ МПа,\ F = 105\ см^2,\ a = 10{,}3\ см,\ i_{\min} = 2{,}97\ см,$$

$$\lambda = 70{,}7;\ \varphi = 0{,}592,\ \delta = \frac{0{,}592 - 0{,}569}{0{,}569} \cdot 100 = 4{,}04\ \%.$$

Димәк, исәпләү шуның белән тәмамлана, чөнки төгәлсезлек бирелгән 5 проценттан ким, исәпләүнең нәтиҗәсе: $a = 10{,}3$ *см*.

11.15. 1 а) 617 *кН*, б) 386 *кН*, в) 432 *кН*, г) 280 *кН*.
2 а) 125 *кН*, б) 652 *кН*, в) 144 *кН*, г) 1017 *кН*.
3 а) 727 *кН*, б) 1504 *кН*, в) 232 *кН*, г) 556 *кН*.
4 а) 468 *кН*, б) 722 *кН*, в) 38,4 *кН*, г) 200 *кН*.

11.16. 1 а) 9,68 *см*, б) 6,94 *см*, в) 12,6 *см*, г) 9,6 *см*.
2 а) 8,11 *см*, б) 6,16 *см*, в) 9 *см*, г) 6,4 *см*.
3 а) 10 *см*, б) 9 *см*, в) 12,6 *см*, г) 11,3 *см*.
4 а) 7,75 *см*, б) 8 *см*, в) 6,35 *см*, г) 7 *см*.
5 а) 11 *см*, б) 10,5 *см*, в) 14 *см*, г) 13,7 *см*.
6 а) 18, б) 16, в) 20*а*, г) 40.
7 а) 10, б) 12, в) 22*а*, г) 24*а*.
8 а) 8(5,5), б) 6,3(6), в) 11(7), г) 7(8).

11.17. Тулаем багана һәм аны тәшкил итә торган һәрбер таяк бердәй тотрыклы булырга тиеш. Шул шарттан багана элемент-

ларының зурлыкларын табабыз. Багананың аркылы киселе мәйданы (таблицадан): $F = 4 \cdot 9{,}42 = 37{,}68\ см^2$.

Андагы нормаль көчәнеш $\sigma = \dfrac{400 \cdot 1^3}{37{,}68 \cdot 10^{-4}} = 106\ МПа$.

Бу көчәнешне рөхсәт ителгән көчәнеш дип саныйбыз, шуңа күрә

$$\varphi = \frac{106}{160} = 0{,}66;$$

φ таблицасыннан моңа туры килгән бөгелүчәнлек зурлыгын табабыз: $\lambda = 93{,}3$.

Багананың беркетелү шартларыннан $\mu = 2$, бөгелүчәнлек аңлатмасыннан аркылы кисемнең инерция радиусын табабыз:

$$i_x = \frac{\mu l}{\lambda} = \frac{2 \cdot 8}{93{,}3} = 0{,}17\ м\ .$$

Аркылы кисемнең инерция моменты

$I_x = I_y = i_x{}^2 \cdot F = 0{,}17^2 \cdot 37{,}68 \cdot 10^{-4}\ м^4 = 10900\ см^4$,

шушы аңлатмадан $I_x = 4\,(\,I_{x1} +\ F_1\,(\,a/2 - z_0\,)^2\,)$, мондагы $I_{x1} = 43\ см^4,\ F_1 = 9{,}42\ см^2,\ z_0 = 1{,}99\ см$ — бирелгән почмакның корыч прокат сортаменты таблицасыннан алынган геометрик характеристикалары, почмаклар арасы a зурлыгын табабыз: $a = 37{,}78\ см$, аны $40\ см$ итеп алабыз. Хәзер аркылы борыслар санын билгелик. Һәрбер почмакның бөгелүчәнлеге тулаем баганаыкына тигез булырга тиеш:

$\lambda = \dfrac{\mu_0 l_0}{i_{min}}$, шуннан $l_0 = \dfrac{i_{min}\lambda}{\mu_0}$, мондагы $i_{min} = 1{,}375\ см$ — почмакның минималь инерция радиусы, μ_0 — почмакның очлары шарнирлы терәлгән дип саныйбыз, l_0 — ике аркылы борыс арасы. Кирәкле зурлыкларны l_0 аңлатмасына куйгач, аны табабыз:

$$l_0 = \frac{1{,}375 \cdot 93{,}3}{1} = 129\ см.$$

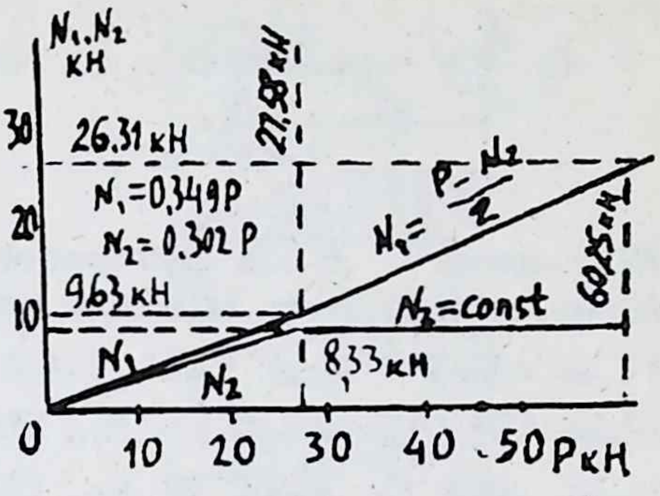
Аралыклар саны $n = \dfrac{L}{l_0} = 6{,}2 = 6$.

Аркылы борыслар саны $n + 1 = 7$.

11.19. $d =\ 9{,}25\ см$.

11.20. Таякларның берсе тотрыклылыгын югалтканчы, P көче таяклар арасында аларның аркылы кисемнәре мәйданнарына ту-

ры пропорциональ бүленә һәм көч $P = 27,58$ *кН* га җиткәнче $N_1 = 0,349\ P$, $N_2 = 0,302\ P$ булып үсә бара. $P = 27,58$ *кН* зурлыгына җиткәч, икенче таяк тотрыклылыгын югалта һәм андагы көч башка үсми, даими булып кала, беренче таяклардагы көч тизрәк үсә башлый һәм, $P = 60,25$ *кН* булгач, икенче таяк та тотрыклылыгын югалта. Көчләрнең үзгәрү законы рәсемдә күрсәтелгән.



11.20 мәсьәләгә

11.21. 2,34 *кН/м*.

12. Динамика мәсьәләләре

12.1 100 *МПа*, 110,6 *МПа*. **12.2.** 22а,18 *мм*.

12.3. $\sigma_{max} = 1330$ *МПа*. Өзелү мөмкинлеге бар.

12.4. $\omega = 97,5\ c^{-1}$.

12.5. $\sigma_{mp} = 116$ *МПа*, $\sigma_б = 31,5$ *МПа*.

12.6. $\omega = \sqrt{\dfrac{2g}{\pi R}} = 5,59\ c^{-1}$.

12.7. 45 *мм*, 4,46 *мм*. **12.8.** 10 *мм*.

12.9. 49,5 *МПа* < $[\sigma]$; 138 *м/с*.

12.10. 27 *мм*. **12.11.** $833 c^{-1}$. **12.12.** 75 *мм*. **12.13.** 142 *м/с*.

12.14. $\omega = 6\ c^{-1}$. **12.15.** 191 *МПа*, 0,855 *мм*.

12.16. $d = 31$ *мм*, 102x102 *мм*. **12.17.** 148 *МПа*, 74 *МПа*.

12.18. *а)* 28,9 *МПа*, *б)* 43,4 *МПа*, *в)* 47,1 *МПа*.

12.19. 163 *МПа*, 6,1 *мм*. **12.20.** 33 *мм*.

12.21 $\sqrt{2}$ тапкырга кими.

12.22. Балка пружинасыз булганда,

$$\sigma_д = \frac{mgl}{4W}\sqrt{\frac{96EIH}{mgl^3}};\ а)\ \frac{\sigma_д}{\sigma_д} = \frac{1}{\sqrt{1 + \delta_{11}c}},$$

б) $\dfrac{\sigma_д^б}{\sigma_д^о} = \dfrac{1}{\sqrt{1 + \dfrac{1}{\delta_{11}c}}}$, в) $\dfrac{\sigma_д^в}{\sigma_д^о} = \dfrac{1}{\sqrt{1 + \dfrac{1}{4\,\delta_{11}c}}}$.

Иң яхшысы — *б* дип билгеләнгән вариант, *а* вариантында пружинаның тәэсире аның катылыгы бик зур булганда гына сизелә.

12.23. $\sigma_{\partial max}^{a} = \sigma_{\partial max}^{б}$. **12.24.** 114,2 *әйл/мин*. **12.25.** 156 *МПа.*

12.26. Юк, түзми, $\sigma_{max}^{\partial} = 78{,}1$ *МПа* $> [\sigma]$. **12.27.** 31,4 *Гц.*

12.28. 1005 *Гц.* **12.29.** 90 *мм.* **12.30.** 137 *МПа.*

12.31. Балкада $\sigma_{max} = 55$ *МПа*, терәктә $\sigma_{max} = 8{,}07$ *МПа.*

12.32. а) $\omega = 17{,}1\ c^{-1}$, *б*) $\omega = 252{,}4\ c^{-1}$, . в) $\omega = 23{,}1\ c^{-1}$.

12.33. $\omega = \sqrt{\dfrac{3EI}{l^3\left(m_0 + \dfrac{33}{140}m_б\right)}}$. Ул чик исәпләүнең төгәлсезлегенә бәйле. Әгәр төгәлсезлек зурлыгы δ булса, $\dfrac{33\ m_б}{140\ m_0}$ булырга тиеш.

12.34. $\omega = \sqrt{\dfrac{48EI}{0{,}493ml^3}}$.

13. Аруны исәпләү

13.1. 222 *МПа.* **13.2.** $\varepsilon_м = 0{,}7$, $\varepsilon_\theta = 0{,}95$. **13.3.** 1,58.

13.4. 2,12. $n = 1{,}47$. **13.7.** 1,4. **13.8.** 2,9.

14.Юка тышчаларны исәпләү

14.1. 25 *мм.* **14.2.** 22,5 *мм*, 20 *мм.* **14.3.** $\sigma_t^{max} = 30$ *МПа* $< [\sigma]$.

14.4. $[p] = 1{,}6$ *МПа*, $\Delta l = 0{,}8$ *мм*, $\Delta D = 0{,}68$ *мм.*

14.5. 10 *мм*, 17,5 *мм.*

14.6. Шар сыман өлешнең калынлыгы 1 *мм*, цилиндр сыман һәм конус сыман өлешләрнеке 3,5 *мм.*

14.7. Җылытканда 7% ка арта, суытканда 25% ка кими.

14.8. 0,912 *кг.*

14.9. $\sigma_{экв}^{III} = \dfrac{pR}{2h}\dfrac{2R - a}{R - a}$. **14.10.** *а)* 100 *МПа*, *б)* 147,5 *МПа.*

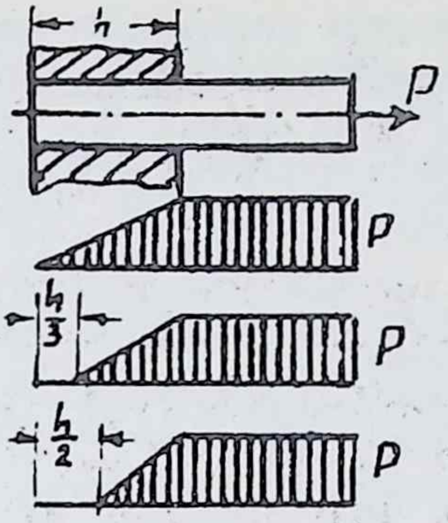
15. Калын стеналы цилиндрлар

15.1. 75 *МПа.* **15.2.** 335 *мм.*

15.3. 295 *МПа.*

15.4. а) $p_к = 71$ *МПа*;
б) $\sigma_{экв} = 221$ *МПа*;
в) $\sigma_t = \sigma_r = -71$ *МПа.*

15.5. 1) 173 *мм*; 150 *мм.*



16.1 мәсьәләгә

16. Төрле мәсьәләләр

16.1. $\Delta_{\min} = 0.0318$ *мм.*

16.2. Статик билгеләнмәгән мәсьәләне үз тәртибендә чишәбез.

1. БААС кагыйдәсен кулланып, мәсьәләнең статик ягын ачыклыйк:

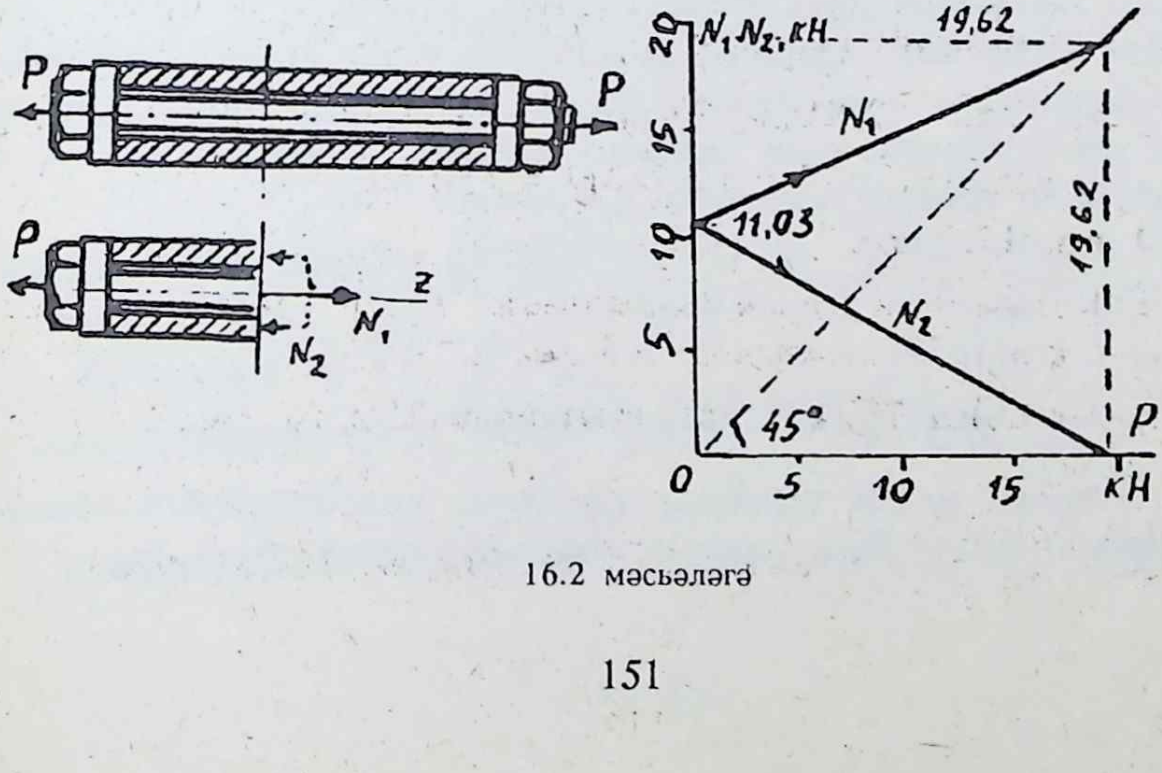
$$\sum Z = 0,\ N_1 - N_2 - P = 0,\ N_1 = P + N_2. \quad (1)$$

2. Болтның озынаю һәм көпшәнең кыскару суммасы тарттыру зурлыгына тигез булырга тиеш:

$$\Delta l_1 + \Delta l_2 = \frac{s}{4}. \quad (2)$$

3. Деформацияләр белән көчләр бәйлелеге Гук законы аша бирелә:

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 l}{E_1 F_1},\ \Delta l_2 = \frac{N_2 l}{E_2 F_2}. \quad (3)$$



16.2 мәсьәләгә

Барлыкка килгән тигезләмә системасын гадәттәгечә чишеп, болт һәм көпшәдәге нормаль көчләрне табабыз:

$$N_1 = \frac{P + E_2F_2s/(4l)}{1 + \dfrac{E_2F_2}{E_1F_1}}, \quad N_2 = \frac{E_1F_1s/(4l) - P}{1 + \dfrac{E_2F_2}{E_1F_1}}.$$

Аңлатмаларга кергән зурлыкларны куеп, N_1 һәм N_2 көчләрен табыйк:

$$N_1 = 0{,}439P + 11{,}03, \quad N_2 = 11{,}03 - 0{,}562P, \text{ кН}$$

Мәсьәләдә куелган сорауларга җавап бирик.

1. Тышкы көч булмаганда $(P = 0)$, $N_1 = N_2 = 11{,}03$ *кН*;
2. Көч, нульдән башлап, ярыклар ачыла башлаганчы $(N_2 = 0)$ үсә; бу очракны графигын төзеп тикшерик. Көч үсә башлагач, болттагы нормаль көч арта, көпшәдәгесе — кими һәм, $P = 19{,}64$ *кН* зурлыгына җиткәч, көпшәдәге нормаль көч бетә (ярыклар ачыла башлый):
   $$N_2 = 11{,}03 - 0{,}562P = 0 \Rightarrow P = 19{,}62 \text{ кН}.$$
3. Тышкы көч тагын да үскәндә, инде болт кына эшли:
   $$N_1 = P, \quad N_2 = 0 \text{ булып кала.}$$

16.3. Бер болт өлешенә төшкән көч:

$$P_1 = p_R\frac{\pi D^2}{4z} = 1{,}1 \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 1^2}{4} = 1964 \text{ Н}$$ (мондагы 1,1 коэффициенты — химия аппаратларын исәпләгәндә, номиналь басымны p_R дип билгеләгән исәпләү басымына китерә торган коэффициент).

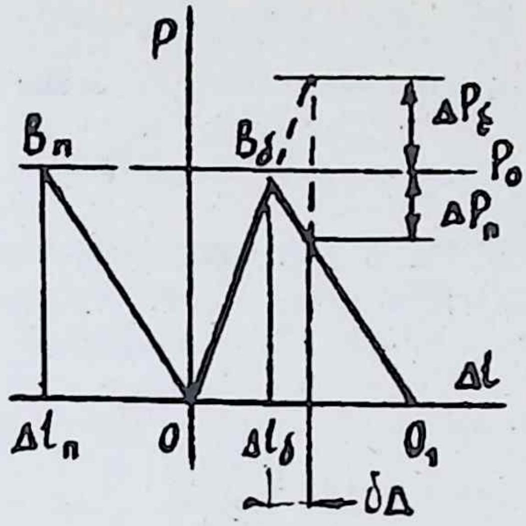
Болтның озынаюын һәм прокладканың утыруын билгелик (фланецларны каты дип, аларның деформацияләрен исәпкә алмыйбыз), башта эластиклык төшенчәсен кертик һәм аның болт һәм прокладка өчен зурлыкларын исәпләп табыйк: мондагы F_n — бер болт өлешенә төшкән прокладка мәйданы:

$$F_n = \frac{\pi\,(D_1^2 - D^2)}{4z} = \frac{\pi\,(1{,}1^2 - 1^2)}{4 \cdot 44} = 37{,}5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\lambda_n = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^8 \cdot 37{,}5 \cdot 10^{-4}} = 2{,}67 \cdot 10^{-9} \text{ м/Н}.$$

Хәзер болтның алдан тарттыру көченнән килеп чыккан озынаюын табабыз: $\Delta L_б = P_0\lambda_б$; прокладканың утыруы: $\Delta l_n = P_0\lambda_n$.

Тикшерүне ачыклау өчен мондый график төзик. Графикка $B_б$ ($\Delta l_б$, P_0) һәм $B_п$ ($\Delta l_п$, P_0) нокталарын тешерик (дөресен әйткәндә, әле безгә P_0 көче билгеле түгел, без аның бүтән көчләр белән бәйлелеген эзлибез). $B_б$ ноктасыннан $B_бO_1 \parallel B_пO$ үткәрик. Бу вакытта O_1O кисемтәсенең озынлыгы $\Delta l_б + \Delta l_п$ була. Болттагы көчне $\Delta P_б$ га арттырсак, болт $\delta\Delta$ га өстәмә озыная, ә прокладканың утыруы шул кадәргә кими, андагы көч тә $\Delta P_п$ га азая.



16.3 мәсьәләгә

Шулай итеп, болттагы көч $P + \Delta P_б$, прокладкадагысы $P_0 - \Delta P_п$ була. Аларның суммасы өстәлгән көч зурлыгына тигез:

$$P_1 = \Delta P_б + \Delta P_п.$$

Өстәмә көч кую белән, болт һәм аның артыннан прокладка да озыная:

$$\delta = \lambda_б \Delta P_б = \lambda_п \Delta P_п, \text{ шуннан}$$

$$\Delta P_б = \frac{\delta}{\lambda_б}, \quad \Delta P_п = \frac{\delta}{\lambda_п}.$$

Алдагы тигезләмәне исәпкә алсак,

$$P_1 = \Delta P_б + \Delta P_п = \frac{\delta}{\lambda_б} + \frac{\delta}{\lambda_п} = \delta\left(\frac{1}{\lambda_б} + \frac{1}{\lambda_п}\right).$$

Болтта өстәмә көч исәбенә арткан көч өлеше:

$$\chi = \frac{\Delta P_б}{P_1} = \frac{\delta/\lambda_б}{\delta\left(\frac{1}{\lambda_б} + \frac{1}{\lambda_п}\right)} = \frac{\lambda_п}{\lambda_б + \lambda_п},$$

прокладкада кимегән көчнең өлеше:

$$\frac{\Delta P_п}{P_1} = \frac{\lambda_б}{\lambda_б + \lambda_п} = 1 - \chi.$$

Хәзер болттагы тулы нормаль көчне табып була:

$$P_б = P_0 + \chi P_1,$$

ә прокладкада калган көч:

$$P_n = P_0 - \Delta P_n = P_0 - (1 - \chi)P_1.$$

Болтның чыдамлык шартын болай итеп язабыз:

$$\sigma_б = \frac{1{,}3P_0 + \chi P_1}{F_{\min}} \le [\sigma],$$

мондагы 1,3 гә тигез булган коэффициент болтта алдан тарттырып куйганда бөтерелүдән өстәмә көчәнеш килеп чыгуын исәпкә ала. Шул чыдамлык шартыннан P_0 көчен табабыз:

$$P_0 \le \frac{(F_{\min}[\sigma] - \chi P_1)}{1{,}3},$$

бу формулага кергән $F_{\min}$ — болтның аркылы кисеменең минималь мәйданы (винт сырының эчке диаметры аша исәпләнә).

Алдан тарттыра торган көч шушы табылган зурлыктан артырга тиеш түгел. Ә күпмегә ким булырга мөмкин соң ул? Күпкә ким булса, болтның чыдамлык шартлары, әлбәттә, җиңеләя, ләкин, герметиклык бозылу куркынычы арта: аппаратның фланецлары һәм прокладка арасында ярык барлыкка килергә мөмкин. Мондый хәл килеп чыкмасын өчен, прокладкада калган көч P_n түбәндәгә шартка туры килергә тиеш: $\dfrac{P_n}{F_n} \ge p n_г$, мондагы $n_г$ — герметиклык запасы коэффициенты; моннан

$$P_0 \ge p n_г F_n + (1 - \chi)P_1.$$

Шулай итеп, болтларны алдан тарттыра торган көчнең зурлыгы түбәндәге чикләр арасында калырга тиеш:

$$p n_г F_n + (1 - \chi)P_1 \le P_0 \le (F_{\min}[\sigma] - \chi P_1)/1{,}3.$$

Мисалның чишелешен ахырына җиткерик:

$$\chi = \frac{2{,}67 \cdot 10^{-9}}{2{,}67 \cdot 10^{-9} + 1{,}75 \cdot 10^{-9}} = 0{,}603;$$

чыдамлык шартыннан

$$P_0 \le (234 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{6} - 0{,}603 \cdot 19640)/1{,}3 = 26900\ Н;$$

тыгызлык шартыннан (герметиклык запасы коэффициентын $n_г = 2$ дип алсак)

$$P_0 \ge 1 \cdot 10^{6} \cdot 2 \cdot 37{,}5 \cdot 10^{-4} + (1 - \chi) \cdot 19640 = 14300\ Н.$$

Шулай итеп, $14{,}3\ кН \le P_0 \le 26{,}9 кН$.

16.5. Беренчесе: а) $\sigma^{III}_{экв} = 234\ МПа$, б) $\sigma^{III}_{экв} = 100\ МПа$.

16.6. 5000 *МПа*. **16.7.** 1) $x = 0{,}147\ a$; 2) $x = 0{,}08\ a$.

16.8. $m_{пр}/m_{рес} = 80/9$. **16.9.** $\varphi = arctg\frac{h}{b}$.

16.10. 45 *мм*. Бу очракта әйләнә көчләрдән тыш (ул көчләрне $P_{o1} = \frac{2M_к}{d_1}$ һәм $P_{o2} = \frac{2M_к}{d_2}$ аңлатмаларыннан табалар), радиаль көчләр $P_{r1} = P_{o1}\, tg\,\alpha$ һәм $P_{r2} = P_{o2}\, tg\,\alpha$ барлыкка килә, ә икенче тәгәрмәчкә тагын күчәр буйлап мондый көч тәэсир итә: $P_{a2} = P_{o2}\, tg\,\beta$. Шул көчләрне билгеләгәннән соң, мәсьәләне 7.26 нчы мәсьәләдә күрсәтелгән тәртиптә чишегез.

16.11. $\Delta_{AB} = \frac{6Pa^2}{G\delta^3}$. **16.12.** 1,45 *мм*. **16.13.** $l = 0{,}335L$.

16.14 $\Delta_г = 0{,}149\frac{PR^3}{EI}$, $\Delta_в = -\,0{,}137\frac{PR^3}{EI}$.

16.15. $m = 10$ *мм*.

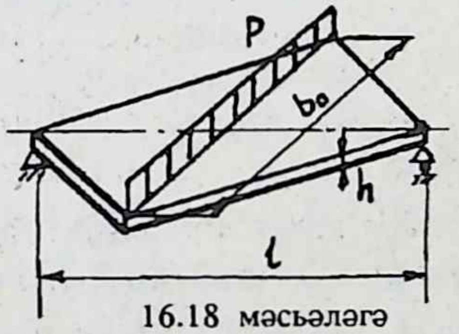
16.16. 10(10) номерлы почмак, $a = 70$ *см*, 9 аркылы борыс.

16.17. 6,16 *МПа*.

16.18. Динамикалылык коэффициентын мондый аңлатмадан табабыз:

$$k_д = 1 + \sqrt{1 + \frac{K}{U_{ст}}}.$$

Рессорны исәпләү схемасы тигез каршылыклы балканыкы кебек үк (рәс. карагыз).



16.18 мәсьәләгә

Аның статик бөгелеше $y_{ст} = \frac{Pl^3}{32EI_0}$, мондагы

$$I_0 = \frac{b_0h^3}{12} = \frac{b\cdot n\cdot h^3}{12} = \frac{8{,}5\cdot10^{-2}\cdot11\cdot2{,}5^3\cdot10^{-6}}{12} = 121{,}7\cdot10^{-8}\ м^4;$$

$$y_{ст} = \frac{50000\cdot1{,}32^3}{32\cdot10^{11}\cdot2\cdot121{,}7\cdot10^{-8}} = 0{,}0148\ м.$$

Статик рәвештә йөкләнгәндә рессорда җыелган потенциаль энергия

$$U_{ст} = \frac{1}{2}Py_{ст} = \frac{1}{2}\cdot50000\cdot0{,}0148 = 369\ Дж.$$

Кинетик энергияне табыйк. Сикәлтәдә килеп чыккан вертикаль тизлекне болай исәплибез.

Автомобиль сикәлтәне

$$t = 3 : \frac{72000}{3600} = 0{,}15\ c$$

арасында үтә, шул ук вакытта ул 6 сантиметрга күтәрелә, димәк,

$$v_{вер} = \frac{6}{0{,}15} = 40\ см/с = 0{,}4\ м/с.$$

Кинетик энергия

$$K = \frac{mv_{вер}^2}{2} = \frac{50000 \cdot 0{,}4^2}{2} = 400\ Дж.$$

Шулай итеп, динамикалылык коэффициенты

$$k_д = 1 + \sqrt{1 + \frac{K}{U_{cm}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{400}{369}} = 2{,}44.$$

$$\sigma_{max}^{д} = \sigma \cdot k_д = 205\ МПа.$$

Рессор даими кисемле балка нигезендә ясалган булса, аның

$$y_{cm} = \frac{0{,}0148}{1{,}5} = 0{,}00987\ м, \quad U_{cm} = \frac{369}{1{,}5} = 246\ Дж,$$

$$k_д = 1 + \sqrt{1 + \frac{400}{246}} = 2{,}62 \quad \text{һәм} \quad \sigma_{max}^{д} = 221\ МПа.$$

16.19. $\tau_{max} = 156\ МПа$, $\sigma_{max} = 2225\ МПа$.

16.20. 1,4.

16.21. $2\Delta = 4{,}1$ *мкм*.

16.22. 682 *л/мин*.

16.23. $H \leq \dfrac{[\sigma]}{2\rho_м g}$.

16.24. $\Delta V = \dfrac{1-2\mu}{E} Pl$.

Өстәмәләр

Төп тәҗрибә эшләре

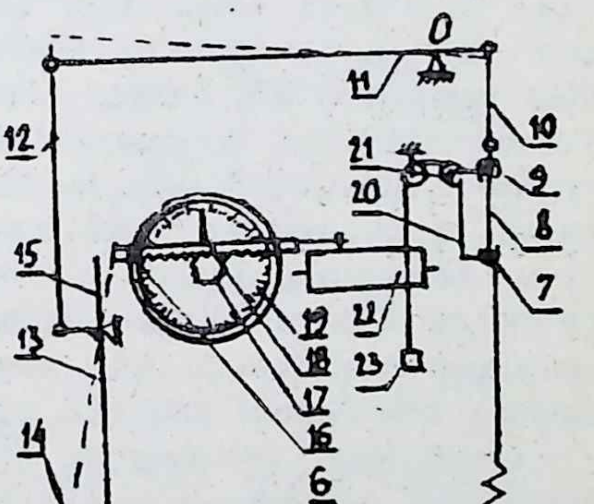
Беренче тәҗрибә эше
Сынау машиналары һәм үлчәү кораллары белән танышу

Тәҗрибә эшләре төрле материаллар үрнәкләренә яисә конструкция өлешләренә көч белән тәэсир итү һәм шул тәэсир вакытында аларның үз тотышларын өйрәнүдән тора. Үрнәккә я детальгә тәэсир итү өчен махсус сынау машиналары кулланыла. Тәэсир иткән вакытта гадәттә сынау объектының деформациясе үлчәнә. Деформацияләр бик кечкенә булырга мөмкин, шуңа күрә аларны үлчәү өчен югары сиземле приборлар кирәк. Мондый прибор тензометр дип атала. Тәҗрибә эшен дөрес башкару өчен сынау машиналары һәм үлчәү коралларының төзелешен һәм төп характеристикаларын белү зарури. Беренче эш барышында укучы шуларның кайберләре белән таныша.

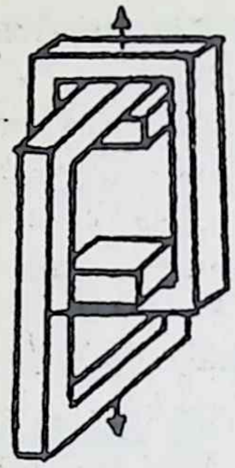
Эшнең максаты: механик сынау машинасы һәм тензометрлар төзелешен һәм эшләвен өйрәнү.

Сынау машинасы. Механик сынау (сузу-кысу) машинасының схемасы 1 нче рәсемдә күрсәтелгән. Бу һәм теләсә нинди башка сынау машинасы мондый биш төп өлештән тора:

- тәэсир итү механизмы,
- көч үлчәү механизмы,
- терәү-эләктерү җайланмалары,
- диаграмма язу механизмы,
- бу механизмнарның барысы да машинаның станинасына — кузгалмый торган нигез өлешенә беркетеп урнаштырылган булалар.



1 рәс:



2 рәс.

Машиналарга атамалар (механик, гидравлик, рычаглы) тәэсир итү механизмы төренә карап бирелгән. Без өйрәнә торган машинаның тәэсир итүчесе механик принципка нигезләнгән. Электр моторыннан (1) хәрәкәт ике баскычлы редуктор (2 — 4) аша гайкага (5) тапшырыла. Гайканың винты (6) әйләнми, шуңа күрә, гайка әйләнеп торганда, ул вертикаль юнәлештә аска таба хәрәкәт итә һәм машинаның аскы эләктергечен (7) аска таба тарта. Аскы һәм өске (8) эләктергечләргә беркетелгән сынала торган үрнәктә (9) сузу көче барлыкка килә. Бу машинада кысу сынаулары да үткәреп була, моның өчен кире юнәлеш җайланмасы кулланалар, ул реверсор дип атала (схемасы 2 рәсемдә күрсәтелгән).

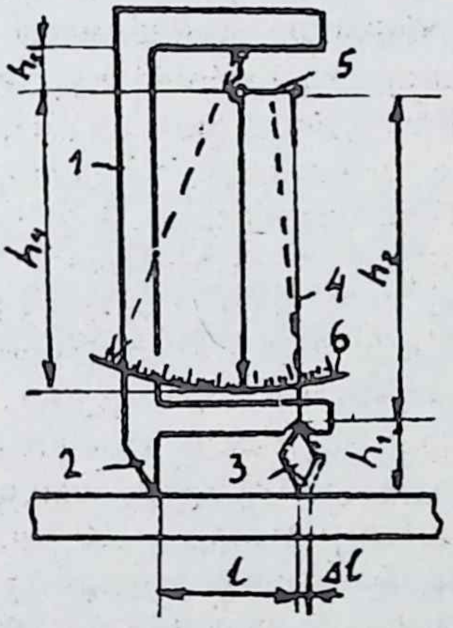
Көч үлчәү механизмының төзелеше һәм эшләве түбәндәгечә. Өске эләктергеч тә хәрәкәтсез түгел. Ул тәҗе (10) аша өстәге аркылы рычагның (11) кыска иңсәсе очына эленгән. Ул рычаг терәк O ноктасы янында борыла ала, аның озын иңсәсенең очы тәҗе (12) аша йөкле (14) сынык рычаг (13) белән бәйләнгән, аны маятник диләр. Маятникның өске очы (15) тешле рейкага (16) терәлеп тора, рейка тешле тәгәрмәч (17) белән эләгешкән. Тешле тәгәрмәч күчәренә йөк күрсәткечнең угы (18) беркетелгән, укның очы шкала (19) буйлап йөри. Барлык машиналарда да икешәр ук була. Аларның берсе тешле тәгәрмәч белән каты бәйләнгән була (ул — актив ук), икенчесе тәгәрмәч күчәренә кидереп кенә куелган була. Аның хәрәкәте — актив ук хәрәкәтенә бәйле. Аны контроль ук дип йөртәләр, ул иң зур көчнең кыйммәтен шкалада саклап калу өчен кирәк.

Машинаның шкалалары берничә булырга мөмкин. Аларның берсеннән икенчесенә күчәр өчен я йөкне (14) үзгәртәләр, яисә маятникны кыскарталар (озынайталар). Рәсемдә пунктир сызыклар белән көч үлчәү механизмы детальләренең торышы машина эшләгән чакта күрсәтелгән. Шуны — эләктергечләрнең хәрәкәт итүеннән башлап йөк күрсәткечнең угы хәрәкәтенә кадәр — схема буенча һәм машинаның үзен күзәтеп өйрәнегез.

Машинаның үрнәкне сынаганда автоматик рәвештә $P - \Delta l$ графигын (машина диаграммасын) язып бару өчен махсус механизмы бар. Ул механизмның төзелешен һәм эшләвен схема буенча

күзәтик. Аскы эләктергечкә җеп (20) бәйләнгән, ул җеп чыгырлар системасы аша (чыгырларның берсе (21) өстәге эләктергечтә урнашкан) барабанның (22) шкивына асылган, җепнең очына (җепне тарттырып торып, механизмны эшләтер өчен) кечкенә гер (22) эленгән. Тешле рейканың (16) башына каләм беркетелгән, ул каләмнең очы барабанга урап куелган кәгазьгә тиеп тора. Көч үлчәү механизмы хәрәкәткә килгәч, каләм көч зурлыгына пропорциональ рәвештә, барабан буйлап күчә башлый, барабан исә каләм астында эләктергечләрнең бер-берсенә карата күчешләренә пропорциональ хәлдә әйләнү юнәлешендә хәрәкәт итә, шулай итеп, сынау вакытында машина диаграммасы сызылып бара.

Механик рычаглы тензометрның (аны уйлап чыгаручысы хөрмәтенә Гуггенбергер тензометры дип йөртәләр, схемасы 3 нче рәсемдә күрсәтелгән) төзелеше бик гади. Ул корпус (1), хәрәкәтсез (2) һәм хәрәкәтле (3) терәк призмалар, рычаг (4), тәҗе (5) һәм шкала (6) буйлап йөри торган уктан (7) тора. Үткен очлы призмалар (һәм рәсемдә күрсәтелмәгән рычаглар системасы) ярдәмендә тензометр үрнәккә беркетелә. Рәсемдә l хәрефе белән тензометрның нигезе билгеләнгән, ул призмаларның арасы. Гадәттә бу тензометрларны $l = 20$ *мм* нигезле итеп ясыйлар.

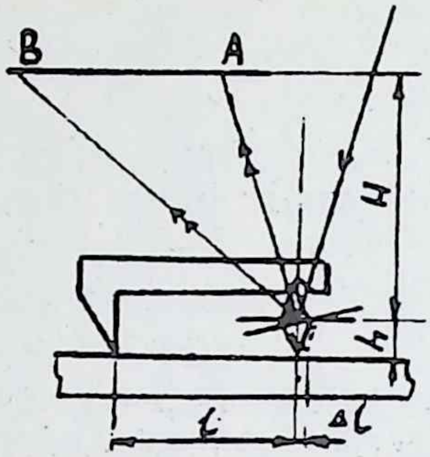


3 рәс.

Пунктир сызыклар белән тензометрның эшләгән чактагы торышы күрсәтелгән. Шуны башыннан ахырына кадәр күзәтегез. Схемада рычагларның иңсәләре билгеләнгән. Аннан күренгәнчә, бу тензометрның зурайту коэффициентын мондый формуладан табып була:

$$k = \frac{\Delta T}{\Delta l} = \frac{h_2 h_4}{h_1 h_3}.$$

Тензометр иңсәләренең буйларын штангенциркуль белән үлчәп, чама белән зурайту коэффициентын табыгыз. Гадәттә бу тензометрларны зурайту коэффициенты $k = 1000$ итеп ясыйлар.



4 рәс.

Оптик-механик тензометрлар да шушылай төзелгән (4 нче рәс.). Аларның да ике призмасы бар, берсе хәрәкәтсез, икенчесе — хәрәкәтле, анысына көзге беркетелгән, шул көзгегә яктылык нуры төшеп тора. Ул, чагылып, экрандагы A ноктасына төшә; деформация аркасында призмаларның очлары арасы үзгәрү сәбәпле, хәрәкәтле призма борыла, аның белән бергә — көзге дә борыла, көзгегә төшкән нур, чагылып, инде B ноктасына төшә. Экрандагы A һәм B нокталарының арасын үлчәп, деформацияне дә табып була. Рәсемнән күренгәнчә, бу тензометрның зурайту коэффициенты

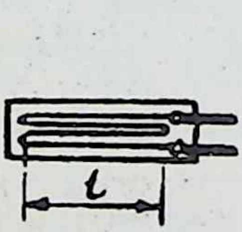
$$k = \frac{\Delta T}{\Delta l} = \frac{H}{h}.$$

Соңгы вакытта электр тензометрлары киң кулланыла. Аларның бик зур бер төркеме тензорезисторларга нигезләнгән. Деформацияләрне тензорезисторлар белән үлчәүнең асылын ачыклыйк. Биредә эш принцибы бик гади: электр үткәргечнең каршылыгы

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

мондагы R — электр каршылыгы, ρ — материалның чагыштырма электр каршылыгы, l — үткәргечнең озынлыгы, S — үткәргечнең аркылы кисеме мәйданы.

Нечкә генә (10 — 20 микрон калынлыктагы) константаннан яки башка бер яраклы материалдан — бу материалларның исемлеге соңрак китерелер — ясалган чыбыкны, 5 нче рәсемдә күрсәтелгәнчә бөтереп, юка кәгазьгә яки нинди дә булса бер пленка өстенә ябыштырып куялар, чыбыкның очларына калынрак үткәргечләр эретеп ябыштыралар. Әзер тензорезисторны сынала торган деталь яки үрнәк өслегенә үзенә яраган җилем белән ябыштырып куялар. Шулай иткәч, үрнәккә көч белән тәэсир иткәндә, аның белән бергә тензорезистор да деформацияләнә. Үрнәк белән бердәй сузылганда, резисторның озынлыгы арта, ә аркылы кисеме



5 рәс.

кими һәм, нәтиҗәдә, аның электр каршылыгы арта, каршылыкның үзгәргән зурлыгы

$$R_1 = \rho \frac{l}{S} \frac{1 + \varepsilon}{1 - \mu\varepsilon^2}$$

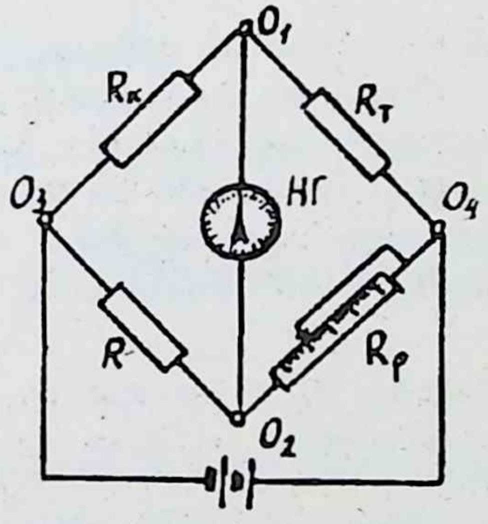
була. Электр каршылыгының чагыштырмача үзгәреше

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{r_1 - R}{R} = \frac{1 + 2\mu}{1 - 2\mu\varepsilon} \varepsilon = k\varepsilon,$$

мондагы k — тензосиземлек коэффициенты дип атала.

Тензорезистор ясауда кулланыла торган материалларның Пуассон коэффициенты 0,5 кә якын булырга тиеш, шуңа күрә аларның тензосиземлек коэффициенты $k = 2—2,3$ була. Мәсәлән, константан (Cu, 40%Ni, 1,5%Mn эремәсе) чыбыгы өчен ул $k = 2—2,1$, нихром өчен (Ni, 15—20%Cr, 1,5%Si, 3,5%Al эремәсе) чыбыгы өчен $k = 2,1—2,3$ була.

Шулай итеп, үрнәккә яки детальгә ябыштырылган тензорезисторның электр каршылыгын үлчәп, аларның резисторлар ябыштырып куелган урыннарындагы деформацияләрен белеп була. Шушы принципка нигезләнгән деформацияне үлчәү кораллары электр тензометрлары дип аталалар. Электр тензометрларында күбесенчә күперчек схемасы кулланыла, аның иң гади мисалы 6 нчы рәсемдә күрсәтелгән. Ул, мәгълүм булганча, Уитстон күперчеге. Күперчекнең бер яртысы (даими каршылыклы резистор R һәм үзгәрүчән каршылыклы резистор — реохорд R_p) үлчәү коралы эчендә җыелган, ә икенчесе коралның эченнән алып чыгарылган. Күперчекнең тышкы яртысындагы $R_т$ дип билгеләнгәне үрнәккә ябыштырып куелган, $R_к$ дип билгеләнгәне — компенсацияләүче резистор, ул, деформацияләнмичә торган үрнәкнеке кебек материал кисәгенә ябыштырып куела һәм үрнәк белән янәшә урнаштырыла, чөнки аның барлык мохит шартлары үрнәкнеке белән бердәй булырга тиеш.



6 рәс.

Деформацияләрне үлчәү болай алып барыла. Мәгълүм булганча, Уитстон күперчегендә капма-каршы урнашкан иңсәләрнең каршы-

лык тапкырчыгышлары тигез булса, аның үлчәү диагоналендә (O_1O_2) электр агымы булмый:

$$R_т \cdot R = R_к \cdot R_p. \quad (*)$$

Резисторларны ябыштырып, аларны үлчәү коралы белән тоташтыргач та, күперчекне баланслаштыралар: реохордны борып, нуль-гальванометр НГ нульне күрсәткәнче, R_p дип билгеләнгән каршылыкны үзгәртәләр һәм реохорд күрсәтүен ($R_p^{(1)}$) язып алалар. Шуннан соң, үрнәкне көч тәэсирендә деформациялиләр, үрнәккә ябыштырылган резисторның каршылыгы үзгәрә (арта я кими). Яңадан, реохордны борып, күперчекне баланслаштыралар, бу чакта реохордның күрсәтүе $R_p^{(2)}$ була. Алда китерелгән (*) тигезләмәсеннән $R_т$ резисторының электр каршылыгы үзгәрүен, ә шуннан соң

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R} / k$$

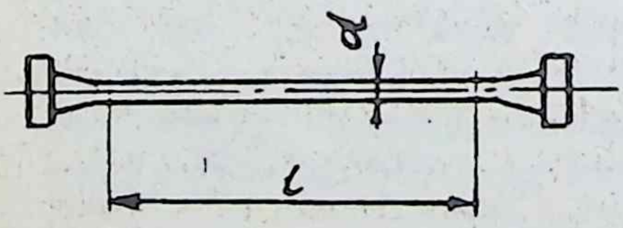
аңлатмасыннан деформацияне дә табып була.

Гамәлдә, резисторларның материалы, каршылыклары, тензосиземлек коэффициентлары билгеле булганга, коралны ясаганда, аларның барысын да исәпкә алалар һәм реохорд шкаласында деформация зурлыкларын күрсәтәләр. Шул шкалада ике үлчәүнең аермасы деформациянең үзгәрешен күрсәтә.

Икенче тәҗрибә эше

Үзле корычны сузуга сынау

Максат: Үзле корычны сузу көче белән өзелгәнче йөкләгәндә аның үз тотышын өйрәнү, чыдамлык һәм пластик үзлекләрен билгеләү.

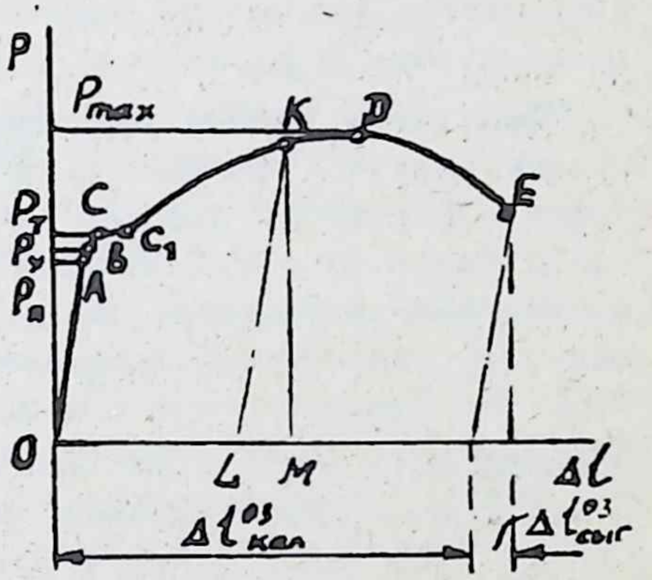


7 рәс.

Сынау үрнәге. Үрнәкнең формасы һәм зурлыклары ГОСТ 1497-81 номерлы стандартка туры килә (7 нче рәс.). Аның төп, цилиндр сыман өлешенең диаметры 10 мм, буе 100 мм, ул сызыклар белән 10 бердәй өлешкә бүленгән. Материалы — аз углеродлы Ст.3 маркалы корыч.

Сынау машинасы — беренче тәҗрибә эшендә өйрәнелгән $SZ-10-1$ маркалы механик сынау машинасы, максималь сузу көче 10 т, бу эштә кулланыла торган шкаласы — 5 т.

Эшнең эчтәлеге. Үзле корычның мондый чыдамлык үзлекләре бар: пропорциональлек чиге $\sigma_п$, сыгылмалылык чиге $\sigma_у$, агучанлык чиге $\sigma_т$ һәм чыдамлык чиге $\sigma_в$. Моннан тыш аның ике үзле (пластик) характеристикасын күрсәтергә кирәк: өзелгәндәге чагыштырма калдык озынаю δ һәм өзелгәндәге чагыштырма калдык тараю ψ.



8 рәс.

Үрнәк йөкләнгәндә диаграмма язу механизмы үрнәкнең «машина диаграмма»сын язып бара, ул $P - \Delta l$ графигы (8 нче рәс.). Диаграммада берничә үзенчәлекле нокта һәм бүлемтекне күзәтеп була. Йөкләнешнең башында (*OA*) диаграмма туры булып кала, димәк, бу бүлемтектә деформация көч зурлыгына туры пропорциональ. Бу халәт металлның кристалл рәшәткәсендәге аралыкларының озынаюына туры килә. Туры бүлемтекнең ахыргы ноктасының ординатасын $P_п$ дип билгелиләр. Ул ноктадан соң диаграмма кәкрәя башлый һәм озакламый тагын бер үзенчәлекле ноктаны үтә. Бу *B* ноктасы, диаграмманың бу ноктасына кадәр материалның деформацияләре саф сыгылмалы: *OB* бүлемтегенең берәр нинди ноктасында үрнәкнең йөген алып ташласак, деформация бөтенләй югала, үрнәкнең формасы һәм зурлыклары башлангыч халәтләренә кире кайталар. Металларның кристаллик төзелешенә килсәк, сыгылмалы деформацияләр кристалл рәшәткәсендәге төен аралары үзгәрешен чагылдыра диләр. Ул аралар, әлбәттә, көч тәэсире беткәч, кире кайталар, *B* ноктасыннан соң (аның ординатасын $P_у$ дип билгелиләр) материалда үзле, калдык, пластик деформацияләр кала башлый; диаграмманың *C* ноктасыннан Δl күчәренә параллель булган бүлемтек башлана, ул агучанлык мәйданчыгы дип атала. Монда, көч үсмәсә дә, деформацияләрнең үсүе дәвам итә. Металлның кристаллик төзелеше күзлегеннән караганда, бу күре-

неш бер кат рәшәткә төеннәренең икенче катка параллель шуып күчүен чагылдыра, андый шуып күчүнең сәбәбе — рәшәткәдә байтак төеннең йөкләнгәнче үк буш булуында, алар («вакансияләр»), йөк булгач, тиз генә тутырылалар һәм инде башка кире кайтмыйлар. Диаграммадагы C ноктасының ординаты $P_т$ дип билгеләнә. Бу күренеш агучанлык дип атала.

Материалның агучан халәткә барып җитүен үрнәкнең өслегендә 45^0 ка авышкан сызыклар барлыкка килүдән белеп була. Ул юнәлеш, мәгълүм булганча, максималь орынма көчәнешләр тәэсир итү юнәлеше. Димәк, үзле деформация нигездә шуышу деформацияләре белән бәйле.

Рәшәткәнең барлык буш урыннары даими йөк тәэсир итүдән тулып беткәч, үрнәкне сузар өчен тагын көчне арттырырга кирәк. Диаграмма яңадан үсә башлый, ул үсү D ноктасына кадәр дәвам итә, C_1D диаграмманың ныгу зонасы дип атала, D ноктасының ординатасы, диаграммадан күренгәнчә, P_{max}. Шуннан соң көч кими башлый, чөнки D ноктасына туры килгән моментта үрнәкнең бер (иң йомшак, зәгыйфь) урынында муентык барлыкка килә, үрнәкнең аркылы кисеме бик тиз кими һәм ул көчнең кимүенә китерә. Диаграмманың E ноктасына туры килгән моментта үрнәк өзелә.

Тагын бер үзенчәлеккә игътибар итик. Әйтелгәнчә, саф сыгылмалы деформацияләр диаграмманың B ноктасына кадәр генә күзәтеләләр. Ә аннан ары сыгылмалы деформацияләр бар микән? Мондый сынау үткәрик. Агучанлык мәйданчыгын үтеп, бер K ноктасына җиткәч, үрнәкне йөктән азат итик, (йөктән) бушату сызыгы KL туры сызыгыннан бара. Ул сызык башлангыч йөкләнеш — OA сызыгына параллель, димәк, диаграмманың K ноктасына туры килгән моменттагы деформациянең бер өлеше — LM югалып кала, шулай итеп, ул — сыгылмалы деформация $LM = \Delta l_{сыг}$, ә калган өлеше OL — үзле, пластик, калдык деформация, $OL = \Delta l_{кал}$. Димәк, сыгылмалы деформация һәркайчан бар, шул исәптән үрнәк өзелгән вакытта да:

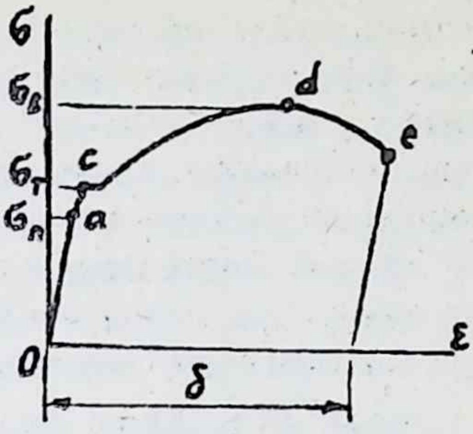
$$\Delta l^{өз} = \Delta l^{өз}_{сыг} + \Delta l^{өз}_{кал},$$

аның $\Delta l^{өз}_{сыг}$ өлеше югала, ә $\Delta l_{кал}$ өлешен үрнәкнең калдыкларын тоташтырып үлчәп була:

$$\Delta l^{өз}_{кал} = l_1 - l.$$

Монда l_1 — үрнәкнең өзелгәннән соң үлчәнгән озынлыгы.

Материалның үзлекләрен билгеләү өчен, «машина диаграмма»сын үзгәртеп, «шартлы диаграмма» төзиләр: «машина диаграмма»сының ординаталарын үрнәкнең аркылы киселенең башлангыч мәйданына, ә абсциссаларын башлангыч озынлыгына бүлеп, яңа график төзиләр (9 нчы рәс.): ординаталары $\sigma = P/F$ — нормаль көчәнеш зурлыклары, абсциссалары $\varepsilon = \Delta l/l$ — чагыштырма буйлы деформацияләр.



9 рәс.

Аларның бәйлелеген күрсәтә торган график шартлы диаграмма дип атала. Диаграмманы шартлы дип атауның сәбәбе — үрнәкне суза башлагач ук, аның аркылы киселе кими, ә без аны даими зурлыкта кала дип саныйбыз.

Шартлы диаграммада да шул ук үзенчәлекле нокталарны билгеләп була. Аларның ординаталары материалның чыдамлык үзлекләрен күрсәтә:

$\sigma_п = P_п/F$ — пропорциональлек чиге, ул — буйлы деформациягә туры пропорциональ булган нормаль көчәнешнең максималь зурлыгы, Гук законы нәкъ менә пропорциональлек чигенә кадәр хак;

$\sigma_у = P_у/F$ — сыгылмалылык чиге, ул — саф сыгылмалы деформациягә туры килгән нормаль көчәнешнең максималь зурлыгы;

$\sigma_т = P_т/F$ — агучанлык чиге, ул — көч даими калып торганда деформациянең үсешенә туры килгән нормаль көчәнеш зурлыгы;

$\sigma_в = P_{max}/F$ — чыдамлык чиге, ул — үрнәк чыдаган иң зур көчкә туры килгән нормаль көчәнеш.

Механик үзлекләр арасына ике пластик үзлек тә керә:

$\delta = \dfrac{l_1 - l}{l} \cdot 100$ — процентлап үлчәнә торган калдык озынаю (бу формулада l_1 — үрнәкнең өзелгәннән соң үлчәнгән озынлыгы),

$\psi = \dfrac{F - F_м}{F} \cdot 100$ — шулай ук процентлап үлчәнә торган калдык аркылы тарау (бу формулада $F_м$ — муентыкның иң кечкенә аркылы киселенең мәйданы).

Эшне башкару һәм нәтиҗәләрен исәпләү. Үрнәкнең диаметрын һәм буен үлчәп, аны машинаның эләктергечләренә беркетәләр, барабан өслегенә кәгазь урап куялар һәм машинаны эшләтә башлыйлар. Сынау вакытында диаграмманы, үрнәкне, көч үлчәгечнең шкаласын күзәтеп торырга кирәк (агучанлык һәм муентык башлана торган моментларны күздән югалтмагыз). Агучанлык мәйданчыгыннан соң үрнәкне йөктән азат итеп һәм яңадан йөк куеп, пропорциональлек чигенең зураюын күзәтегез.

Үрнәк өзелгәннән соң, аның өзелгән җирен тотып карагыз — ул җылымса. Бу күренеш шуышу исәбенә киткән энергияне чагылдыра. Көч үлчәгечнең шкаласыннан контроль ук күрсәтүен язып алыгыз — ул максималь көч. Өзелгән үрнәкнең калдыкларын тоташтырып, кырый билгеләр арасын — үрнәкнең яңа озынлыгын һәм муентык диаметрын штангенциркуль белән үлчәгез.

Шушылардан соң «машина диаграмма»сы белән эш итергә кирәк. Башта диаграмманың абсцисса һәм ордината күчәрләре буйлап масштабларын билгелиләр:

$$m_{\Delta l} = \frac{\Delta l_{кал}^{өз}}{ON} = \frac{l_1 - l}{ON}, \; мм/мм,$$

$$m_P = \frac{P_{\max}}{DD_1}, \; кг/мм.$$

Шуннан соң, масштаб зурлыкларыннан файдаланып, кирәкле көчләрне һәм озынаюларны билгеләп, шартлы диаграмманы төзиләр, чыдамлык һәм пластик үзлекләрне табалар. Чыдамлык үзлекләренең зурлыкларын *МПа* ларга китерегез.

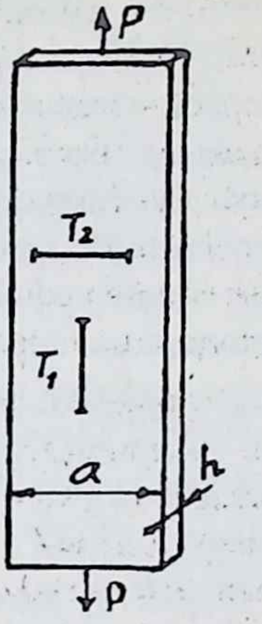
Өченче тәҗрибә эше
Материалның сыгылмалылык үзлекләрен билгеләү

Максат: Гук законын тикшерү, дюралюминийның эластиклык модуле(E) һәм Пуассон коэффициенты (μ) зурлыкларын табу.

Сынау машинасы: МР-05 маркалы механик сузу машинасы, максималь көче 0,5 т, кулланыла торган шкаласы 0,5 т.

Сынау үрнәге: дюралюминийдән ясалган тар һәм юка озынча кисәк, аның зурлыклары a һәм h (10 нчы рәс.). Буйлы һәм аркылы деформацияләрне үлчәү өчен, үрнәккә T_1 һәм T_2 дип билгеләнгән Гуггенбергер тензометрлары беркетелгән: T_1 — буйлы,

T_2 — аркылы деформацияләрне үлчи. Тензометрларның нигезләре бердәй $l_1 = l_2 = 20$ *мм*, зурайту коэффициенты $k_1 = k_2 = 1000$.



10 рәс.

Эшнең эчтәлеге һәм башкару тәртибе. Сузу очрагында таякның буе арта, ә иңе кими, тензометрлар нигезенә тигез буйның озынаюы $\Delta l = l_1 - l$, аркылы тараюлар $\Delta a = a_1 - a$, $\Delta h = h_1 - h$, мондагы «1» индексы үзгәргән зурлыкларны билгели.

Таякны буйлы деформациясе дип $\varepsilon = \Delta l / l$ бүлү чыгышын, ә аркылы деформацияләре дип $\varepsilon' = \Delta a / a$ һәм $\varepsilon'' = \Delta h / h$ бүлү чыгышларын атыйлар. Изотропияле җисемнең бу аркылы деформацияләре бер-берсенә тигез $\varepsilon' = \varepsilon''$ һәм аркылы деформациянең буйлы деформациягә бүлү чыгышы бирелгән материал өчен даими зурлык була. Абсолют рәвештә алынган сузылу яки кысылу вакытындагы аркылы деформацияне буйлы деформациягә бүлү чыгышы Пуассон коэффициенты дип атала:

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|.$$

Пуассон коэффициентын тәҗрибәдә билгеләү өчен, сузу я кысу сынавы вакытында үрнәкнең буйлы һәм аркылы деформацияләрен үлчәргә кирәк.

Деформацияләр (буйлысы да, аркылысы да) көчнең һәм көчәнешнең зурлыгына бәйле. Ул бәйлелек — Гук законы — нормаль көчәнеш буйлы деформациягә туры пропорциональ: $\sigma = E\varepsilon$.

Көчәнеш $\sigma = N/F = P/F$, ә буйлы деформация $\varepsilon = \Delta l / l$ икәнен искә төшереп, $\Delta l = \dfrac{Nl}{EF} = \dfrac{Pl}{EF}$ икәнен күреп була.

Бу формуладагы E — эластиклык модуле. Формуладан эластиклык модулен табып була:

$$E = \frac{Pl}{F\Delta l}.$$

Димәк, Eны тәҗрибәдән табу өчен, үрнәккә сузу я кысу көче белән тәэсир итеп, аның озынаюын я кыскаруын үлчәргә кирәк. Ә инде шул ук вакытта аркылы деформацияне дә үлчәсәң, бер

сынауда материалның ике эластиклык характеристикасын да табып була.

Эш мондый тәртиптә башкарыла. Үрнәкнең аркылы киселеме зурлыкларын үлчиләр һәм аңа акрынлап көч куялар. Үрнәккә көч куйганда, һәр 150 кг нан соң туктап, буйлы һәм аркылы тензометрларның күрсәтүләрен алып, таблицага язалар. Игътибар итегез: йөкләнешне нульдән түгел, ә 50 кг нан башлыйлар, башлангыч көч нуль дип санала, бу — машинада һәм үлчәү коралларындагы барлык ярыклар бетсен өчен һәм аларны төгәл үлчәүгә әзерләп кую өчен эшләнә. Үлчәү нәтиҗәләрен эшкәрту тензометрлар күрсәткечләренең йөкнең бер басмасына туры килә торган уртача үзгәрүләрен — $\Delta T_1^{ур}$ һәм $\Delta T_2^{ур}$-ларны табудан гыйбарәт.

Гук законын тикшерер өчен, $P - \Delta l$ графигын төзиләр, әгәр ул туры сызык булса, Гук законы хак булып чыга.

Шуннан соң Пуассон коэффициентын һәм эластиклык модулен болай табалар:

$$\mu = \left|\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right| = \left|\frac{\Delta l_2/l_2}{\Delta l_1/l_1}\right| = \left|\frac{\Delta l_2}{\Delta l_1}\right| = \left|\frac{\Delta T_2^{ур}/k}{\Delta T_1^{ур}/k}\right| = \left|\frac{\Delta T_2^{ур}}{\Delta T_1^{ур}}\right|;$$

$$E = \frac{\Delta P l_1}{\Delta l_1 F} = \frac{\Delta P l_1 k}{\Delta T_1^{ур} ah}.$$

Эластиклык модуленең зурлыгын МПа ларга китереп язарга. Әйтелгәннән тыш, үткәрелгән сынау вакытында деформацияләрнең сыгылмалы булганлыгына ышаныгыз. Моның өчен йөкне куя башлаганда ($P = 50$ *кг*), шулай ук йөк белән торганда һәм йөктән бушаткан соң ($P = 50$ *кг*), тензометрларның күрсәткечләрен чагыштырып карарга кирәк, алар бердәй булырга тиеш.

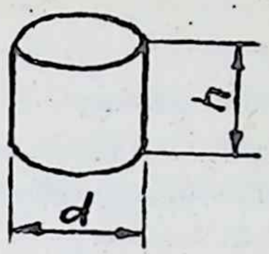
Дүртенче тәҗрибә эше
Материалларның аларны кысканда чыдамлык үзлекләрен билгеләү

Максат: үзле һәм уалучан материалларның аларны кыскандагы үзтотышларын өйрәнү һәм чыдамлык үзлекләрен табу.

Сынау машинасы: *SZ*–10–1 маркалы механик сузу машинасы, шкаласы 5 т. Аның кире йөреш җайланмасы (реверсоры) бар.

Сынау үрнәкләре: үрнәкләр кечкенә генә цилиндр формасында ясалган (11 нче рәс), аларның диаметры белән биеклеге арасында мондый үзара бәйләнеш булырга тиеш: $h \leq 2d$.

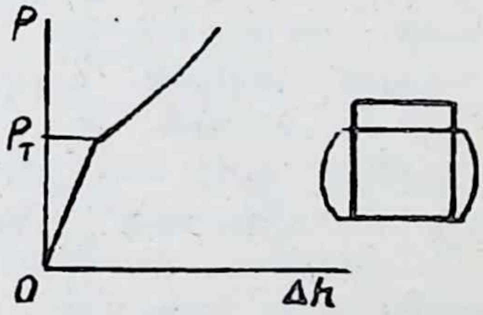
Озын үрнәк, кыскан чакта, тотрыклылыгын югалтып, бөгелүдән җимерелергә мөмкин. Үзле материаллардан бакыр, уалучаннардан — чуен үрнәге сынала.



11 рәс.

Сынауның тәртибе һәм нәтиҗәләрен исәпләү. Үрнәкләргә берәм-берәм машинада кысу көче белән тәэсир итәләр. Машинаның диаграмма механизмы кысу диаграммасын сыза. 12 нче рәсемдә үзле материал диаграммасы күрсәтелгән. Бу материалны кысып җимереп булмый, шуңа күрә, үрнәк 0,25–0,33 өлешенә кысылгач, йөкләнешне туктаталар. Димәк, үзле материалны кыскан вакытта, P_{max}ның мәгънәсе калмый, шуңа күрә ул билгеләнми.

Сыналган үрнәк мичкә формасын ала. Моның сәбәбе — үрнәкнең аскы һәм өске өслекләрендә тәэсир итә торган шуышу көчләрендә. Кысканда, үрнәкнең һәрбер ноктасы (күчәрдәгеләрдән кала) уртадан кырыйга күчәргә омтыла, ләкин үрнәкнең очлары янындарак нокталарның аркылы күчешләре шул шуышу көчләре тәэсир итүеннән кими. Шуышу көчләре булмаса (мәсәлән, үрнәкнең астына һәм өстенә графит төеп сипсәк), үрнәк цилиндр формасын саклап кала.



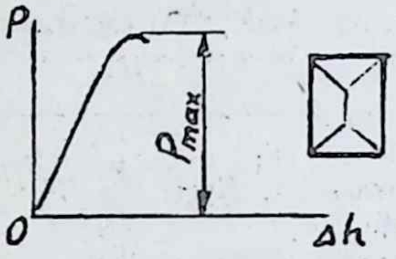
12 рәс.

Машина диаграммасыннан күренгәнчә, аның бер генә үзенчәлекле ноктасы бар, ул — C ноктасы. Бу агучанлык күренеше башлануга охшаган, ләкин ул сузу очрагындагы кебек күзәтелми, чөнки кысылган чакта үрнәк юаная, димәк, ныгый бара. Шуңа күрә монда бернинди муентык кебек күренешләр дә булырга мөмкин түгел. Шул үзенчәлекле ноктаның ординатасын $P_т$ дип алып, материалның агучанлык чиген табабыз:

$$\sigma_т = \frac{P_т}{F}.$$

Уалучан материалның кысу диаграммасы 13 нче рәсемдә күрсәтелгән. Бу очракта үрнәк җимерелә. Диаграммада бер генә үзенчәлекле нокта бар, ул — аның максимум ноктасы, шуңа күрә уалучан материалның бер генә механик үзлеген — чыдамлык чиген билгелиләр:

$$\sigma_в = \frac{P_{\max}}{F}.$$



13 рәс.

Үрнәк таркалып җимерелә. Җимерелүнең сәбәбе — үрнәк сузу деформацияләренә каршы тора алмый диярлек. Кысканда, аның аркылы зурлыклары арта, ул аркылы юнәлештә сузылган сыман була. Шул сузу деформацияләре ахыргы чиккә җиткәч, буйлы ярыклар барлыкка килә һәм үрнәк таркалып җимерелә. Еш кына җимерелү формасы моннан аерыла, ул 45° ка авышкан яссылыктан ярылып төшкәнгә охшый. Моны максималь орынма көчәнештән дип уйларга ярамый. Бу, үзле материаллар очрагындагы кебек, үрнәкнең өске һәм аскы очларындагы шуышу көчләре тәэсир итү нәтиҗәсе генә. Ә почмакның 45° ка тигез булып күренүе— ул үрнәкнең $d = 0,5h$ булуына гына бәйле. Үрнәк орынма көчәнештән җимерелсен өчен, көчәнешне берничә тапкырга арттырырга кирәк (Давиденков-Фридман чыдамлык теориясен карагыз). Уалучан материал өзелүдән җимерелә.

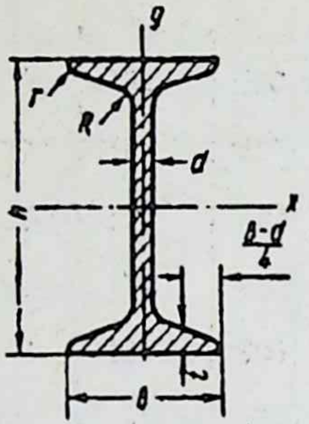
Белешмә таблицалар

Түбәндәге таблицаларда борысларның чыдамлыгын, катылыгын һәм тотрыклылыгын исәпләгән чакта кулланыла торган белешмә мәглүматлар китерелгән. Беренче таблицада төрле материалларның φ коэффициентлары, калганнарында корыч прокат профильләренең геометрик характеристикалары бирелгән.

1 таблица

Төрле материалларның φ коэффициентлары

Бөгелүчәнлек λ	φ				
	Ст.1, Ст.2, Ст.3, Ст.4, маркалы корыч	Ст.5 маркалы корыч	Югары сыйфатлы корыч $\sigma_y \geq 320 МПа$	Чуен	Агач
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,97	0,97	0,99
20	0,96	0,95	0,95	0,91	0,97
30	0,94	0,92	0,91	0,81	0,93
40	0,92	0,89	0,87	0,69	0,87
50	0,89	0,86	0,83	0,57	0,80
60	0,86	0,82	0,79	0,44	0,71
70	0,81	0,76	0,72	0,34	0,60
80	0,75	0,70	0,65	0,26	0,48
90	0,69	0,62	0,55	0,20	0,38
100	0,60	0,51	0,43	0,16	0,31
110	0,52	0,43	0,35	—	0,25
120	0,45	0,37	0,30	—	0,22
130	0,40	0,33	0,26	—	0,18
140	0,36	0,29	0,23	—	0,16
150	0,32	0,26	0,21	—	0,14
160	0,29	0,24	0,19	—	0,12
170	0,26	0,21	0,17	—	0,11
180	0,23	0,19	0,15	—	0,10
190	0,21	0,17	0,14	—	0,09
200	0,19	0,16	0,13	—	0,08



2 таблица

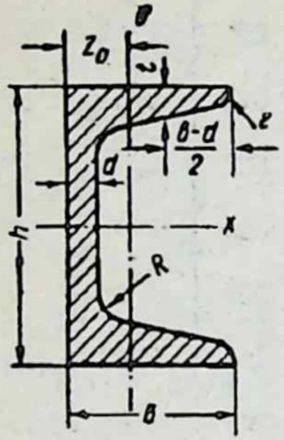
Икетамгалар

Балка номеры	1 метрның массасы, *кг*	Зурлыклар, *мм*						Кисем мәйданы, $см^2$	Белешмә зурлыклар						
									x—x				*y—y*		
		h	*b*	*d*	*t*	*R*	*r*		I_x, $см^4$	W_x, $см^3$	i_x, *см*	S_x, $см^3$	I_y, $см^4$	W_y, $см^3$	i_y, *см*
10	9,46	100	55	4,5	7,2	7	2,5	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	11,5	120	64	4,8	7,3	7,5	3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	13,7	140	73	4,9	7,5	8	3	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	15,9	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	18,4	180	90	5,1	8,1	9	3,5	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18a	19,9	180	100	5,1	8,3	9	3,5	25,4	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12
20	21,0	200	100	5,2	8,4	9,5	4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
20a	22,7	200	110	5,2	8,6	9,5	4	28,9	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32
22	24,0	220	110	5,4	8,7	10	4	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
22a	25,8	220	120	5,4	8,9	10	4	32,8	2790	254	9,22	143	206	34,3	2,50
24	27,3	240	115	5,6	9,5	10,5	4	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
24a	29,4	240	125	5,6	9,8	10,5	4	37,5	3800	317	10,1	178	260	41,6	2,63

Балка номеры	1 метрның массасы, кг	Зурлыклар, мм						Кисем мәйданы, $см^2$	Белешмә зурлыклар						
									x—x				y—y		
		h	b	d	t	R	r		I_x, $см^4$	W_x, $см^3$	i_x, см	S_x, $см^3$	I_y, $см^4$	W_y, $см^3$	i_y, см
27	31,5	270	125	6,0	9,8	11	4,5	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
27а	33,9	270	135	6,0	10,2	11	4,5	43,2	5500	407	11,3	229	337	50,0	2,80
30	36,5	300	135	6,5	10,2	12	5	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
30а	39,2	300	145	6,5	10,7	12	5	49,9	7780	518	12,5	292	436	60,1	2,95
33	42,2	330	140	7,0	11,2	13	5	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	48,6	360	145	7,5	12,3	14	6	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	56,1	400	155	8,0	13,0	15	6	71,4	18930	947	16,3	540	666	85,9	3,05
45	65,2	450	160	8,6	14,2	16	7	83,0	27450	1220	18,2	699	807	101	3,12
50	76,8	500	170	9,5	15,2	17	7	97,8	39290	1570	20,0	905	1040	122	3,26
55	89,8	550	180	10,3	16,5	18	7	114	55150	2000	22,0	1150	1350	150	3,44
60	104	600	190	11,1	17,8	20	8	132	75450	2510	23,9	1450	1720	181	3,60
65	120	650	200	12,0	19,2	22	9	153	101400	3120	25,8	1800	2170	217	3,77
70	138	700	210	13,0	20,8	24	10	176	134600	3840	27,7	2230	2730	260	3,94
70а	158	700	210	15,0	24,0	24	10	202	152700	4360	27,5	2550	3240	309	4,01
70б	184	700	210	17,5	28,2	24	10	234	175370	5010	27,4	2940	3910	373	4,09

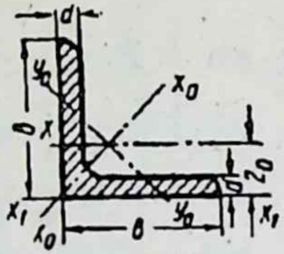
3 таблица

Швеллерлар



Профиль номеры	1 метрның массасы, кг	Зурлыклар, мм						Кисем мәйданы, $см^2$	Белешмә зурлыклар							
									x—x				y—y			
		h	b	d	t	R	r		I_x, $см^4$	W_x, $см^3$	i_x, см	S_x, $см^3$	I_y, $см^4$	W_y, $см^3$	i_y, см	z_0, см
5	4,84	50	32	4,4	7,0	6	2,5	6,16	22,8	9,10	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	5,90	65	36	4,4	7,2	6	2,5	7,51	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8	7,05	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	8,59	100	46	4,5	7,6	7	3	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	10,4	120	52	4,8	7,8	7,5	3	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	12,3	140	58	4,9	8,1	8	3	15,6	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,67
14a	13,3	140	62	4,9	8,7	8	3	17,0	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87

Профиль номеры	1 метрның массасы, *кг*	Зурлыклар, *мм*						Кисем мәйданы, $см^2$	Белешмә зурлыклар							
									x—x				*y—y*			
		h	b	d	t	R	r		I_x, $см^4$	W_x, $см^3$	i_x, *см*	S_x, $см^3$	I_y, $см^4$	W_y, $см^3$	i_y, *см*	z_0, *см*
16	14,2	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,80
16а	15,3	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18	16,3	180	70	5,1	8,7	9	3,5	20,7	1090	121	7,24	69,8	86,0	17,0	2,04	1,94
18а	17,4	180	74	5,1	9,3	9	3,5	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20,0	2,18	2,13
20	18,4	200	76	5,2	9,0	9,5	4	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20	2,07
20а	19,8	200	80	5,2	9,7	9,5	4	25,2	1670	167	8,15	95,9	139	24,2	2,35	2,28
22	21,0	220	82	5,4	9,5	10	4	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
22а	22,6	220	87	5,4	10,2	10	4	28,8	2330	212	8,99	121	187	30,0	2,55	2,46
24	24,0	240	90	5,6	10,0	10,5	4	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60	2,42
24а	25,8	240	95	5,6	10,7	10,5	4	32,9	3180	265	9,84	151	254	37,2	2,78	2,67
27	27,7	270	95	6,0	10,5	11	4,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	31,8	300	100	6,5	11,0	12	5	40,5	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,52
33	36,5	330	105	7,0	11,7	13	5	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	41,9	360	110	7,5	12,6	14	6	53,4	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,68
40	48,3	400	115	8,0	13,5	15	6	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75



4 таблица

Тигезьяклы почмаклар

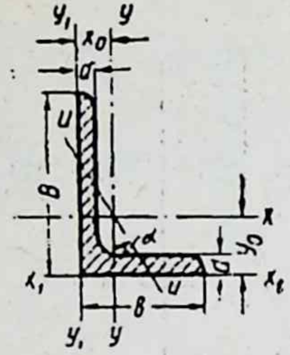
Профиль номеры	Зурлыклар, мм		Кисем мәйданы, $см^2$	1 м массасы, кг	Белешмә зурлыклар								
					x—x		x_0—x_0		y_0—y_0		x_1—x_1	
	b	d			I_x, $см^4$	i_x, см	I_{x_0} max, $см^4$	i_{x_0} max, см	I_{y_0} min, $см^4$	i_{y_0} min, см	I_{x_1} $см^4$	z_0, см
2	20	3	1,13	0,89	0,40	0,59	0,63	0,75	1,17	0,39	0,81	0,60
		4	1,46	1,15	0,50	0,58	0,78	0,73	0,22	0,38	1,09	0,64
2,5	25	3	1,43	1,12	0,81	0,75	1,29	0,95	0,34	0,49	1,57	0,73
		4	1,86	1,46	1,03	0,74	1,62	0,93	0,44	0,48	2,11	0,76
2,8	28	3	1,62	1,27	1,16	0,85	1,84	1,07	0,48	0,55	2,20	0,80
3,2	32	3	1,86	1,46	1,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,63	3,26	0,89
		4	2,43	1,91	2,26	0,96	3,58	1,21	0,94	0,62	4,39	0,94
3,6	36	3	2,10	1,65	2,56	1,10	4,06	1,39	1,06	0,71	4,64	0,99
		4	2,75	2,16	3,29	1,09	5,21	1,38	1,36	0,70	6,24	1,04
4	40	3	2,35	1,85	3,55	1,23	5,63	1,55	1,47	0,79	6,35	1,09
		4	3,08	2,42	4,58	1,22	7,26	1,53	1,90	0,78	8,53	1,13
4,5	45	3	2,65	2,08	5,13	1,39	8,13	1,75	2,12	0,89	9,04	1,21
		4	3,48	2,73	6,63	1,38	10,5	1,74	2,74	0,89	12,1	1,26
		5	4,29	3,37	8,03	1,37	12,7	1,72	3,33	0,88	15,3	1,30

Профиль номеры	Зурлыклар, *мм*		Кисем мәйданы, $см^2$	1 *м* массасы, *кг*	Белешмә зурлыклар							
					$x-x$		x_0-x_0		y_0-y_0		x_1-x_1	
	b	*d*			I_x, $см^4$	i_x, *см*	I_{x_0} max, $см^4$	i_{x_0} max, *см*	I_{y_0} min, $см^4$	i_{y_0} min, *см*	I_{x_1}, $см^4$	z_0, *см*
5	50	3	2,96	2,32	7,11	1,55	11,3	1,95	2,95	1,00	12,4	1,33
		4	3,89	3,05	9,21	1,54	14,6	1,94	3,80	0,99	16,6	1,38
		5	4,80	3,77	11,2	1,53	17,8	1,92	4,63	0,98	20,9	1,42
5,6	56	3,5	3,86	3,03	11,6	1,73	18,4	2,18	4,80	1,12	20,3	1,50
		4	4,38	3,44	13,1	1,73	20,8	2,18	5,41	1,11	23,3	1,52
		5	5,41	4,25	16,0	1,72	25,4	2,16	6,59	1,10	29,2	1,57
6,3	63	4	4,96	3,90	18,9	1,95	29,9	2,45	7,81	1,25	33,1	1,69
		5	6,13	4,81	23,1	1,94	36,6	2,44	9,52	1,25	41,5	1,74
		6	7,28	5,72	27,1	1,93	42,9	2,43	11,2	1,24	50,0	1,78
7	70	4,5	6,20	4,87	29,0	2,16	46,0	2,72	12,0	1,39	51,0	1,88
		5	6,86	5,38	31,9	2,16	50,7	2,72	13,2	1,39	56,7	1,90
		6	8,15	6,39	37,6	2,15	59,6	2,71	15,5	1,38	68,4	1,94
		7	9,42	7,39	43,0	2,14	68,2	2,69	17,8	1,37	80,1	1,99
		8	10,7	8,37	48,2	2,13	76,4	2,68	20,0	1,37	91,9	2,02
7,5	75	5	7,39	5,80	39,5	2,31	62,6	2,91	16,4	1,49	69,6	2,02
		6	8,78	6,89	46,6	2,30	73,9	2,90	19,3	1,48	83,9	2,06
		7	10,1	7,96	53,3	2,29	84,6	2,89	22,1	1,48	96,3	2,10
		8	11,5	9,02	59,8	2,28	94,9	2,87	24,8	1,47	113	2,15
		9	12,8	10,1	66,1	2,27	105	2,86	27,5	1,46	127	2,18
8	80	5,5	8,63	6,78	52,7	2,47	83,6	3,11	21,8	1,59	93,2	2,17
		6	9,38	7,36	57,0	2,47	90,4	3,11	23,5	1,58	102	2,19
		7	10,8	8,51	65,3	2,45	104	3,09	27,0	1,58	119	2,23
		8	12,3	9,65	73,4	2,44	116	3,08	30,3	1,57	137	2,27

4 таблицаның дәвамы

Профиль номеры	Зурлыклар, мм		Кисем мәйданы, $см^2$	1 м массасы, кг	Белешмә зурлыклар							
					$x-x$		x_0-x_0		y_0-y_0		x_1-x_1	
	b	d			I_x, $см^4$	i_x, см	I_{x_0} max, $см^4$	i_{x_0} max, см	I_{y_0} min, $см^4$	i_{y_0} min, см	I_{x_1}, $см^4$	z_0, см
9	90	6	10,6	8,33	82,1	2,78	130	3,50	34,0	1,79	145	2,43
		7	12,3	9,64	94,3	2,77	150	3,49	38,9	1,78	169	2,47
		8	13,9	10,9	106	2,76	168	3,48	43,8	1,77	194	2,51
		9	15,6	12,2	118	2,75	186	3,46	48,6	1,77	219	2,55
10	100	6,5	12,8	10,1	122	3,09	193	3,88	50,7	1,99	214	2,68
		7	13,8	10,8	131	3,08	207	3,88	54,2	1,98	231	2,71
		8	15,6	12,2	147	3,07	233	3,87	60,9	1,98	265	2,75
		10	19,2	15,1	179	3,05	284	3,84	74,1	1,96	333	2,83
		12	22,8	17,9	209	3,03	331	3,81	86,9	1,95	402	2,91
		14	26,3	20,6	237	3,00	375	3,78	99,3	1,94	472	2,99
		16	29,7	23,3	264	2,98	416	3,74	112	1,94	542	2,06
11	110	7	15,2	11,9	176	3,40	279	4,29	72,7	2,19	308	2,96
		8	17,2	13,5	198	3,39	315	4,28	81,8	2,18	353	3,00
12,5	125	8	19,7	15,5	294	3,87	467	4,87	122	2,49	516	3,36
		9	22,0	17,3	327	3,86	520	4,86	135	2,48	582	3,40
		10	24,3	19,1	360	3,85	571	4,84	149	2,47	649	3,45
		12	28,9	22,7	422	3,82	670	4,82	174	2,46	782	3,53
		14	33,4	26,2	482	3,80	764	4,78	200	2,45	916	3,61
		16	37,8	29,6	539	3,78	853	4,75	224	2,44	1051	3,68
14	140	9	24,7	19,4	466	4,34	739	5,47	192	2,79	818	3,78
		10	27,3	21,5	512	4,33	814	5,46	211	2,78	911	3,82
		12	32,5	25,5	602	4,31	957	5,43	248	2,76	1097	3,90

Профиль номеры	Зурлыклар, *мм*		Кисем мәйданы, $см^2$	1 *м* массасы, *кг*	Белешмә зурлыклар							
					$x—x$		$x_0—x_0$		$y_0—y$		$x_1—x_1$	
	b	*d*			I_x, $см^4$	i_x, *см*	I_{x_0} max, $см^4$	i_{x_0} max, *см*	I_{y_0} min, $см^4$	i_{y_0} min, *см*	I_{x_1}, $см^4$	z_0, *см*
16	160	10	31,4	24,7	774	4,96	1229	6,25	319	3,19	1356	4,30
		11	34,4	27,0	844	4,95	1341	6,24	348	3,18	1494	4,35
		12	37,4	29,4	913	4,94	1450	6,23	376	3,17	1633	4,39
		14	43,3	34,0	1046	4,92	1662	6,20	431	3,16	1911	4,47
		16	49,1	38,5	1175	4,89	1966	6,17	485	3,14	2191	4,55
		18	54,8	43,0	1299	4,87	2061	6,13	537	3,13	2472	4,63
		20	60,4	47,4	1419	4,85	2248	6,10	589	3,12	2756	4,70
18	180	11	38,8	30,5	1216	5,60	1933	7,06	500	3,59	2128	4,85
		12	42,2	33,1	1317	5,59	2093	7,04	540	3,58	2324	4,89
20	200	12	47,1	37,0	1823	6,22	2896	7,84	749	3,99	3182	5,37
		13	50,9	39,9	1961	6,21	3116	7,83	805	3,98	3452	5,42
		14	54,6	42,8	2097	6,20	3333	7,81	861	3,97	3722	5,46
		16	62,0	48,7	2363	6,17	3755	7,78	970	3,96	4264	5,54
		20	76,5	60,1	2871	6,12	4560	7,72	1182	3,93	5355	5,70
		25	94,3	74,0	3466	6,06	5494	7,63	1438	3,91	6733	5,89
		30	111,5	87,6	4020	6,00	6351	7,55	1688	3,89	8130	6,07
22	220	14	60,4	47,4	2814	6,83	4470	8,60	1159	4,38	4941	5,93
		16	68,6	53,8	3175	6,81	5045	8,58	1306	4,36	5661	6,02
25	250	16	78,4	61,5	4717	7,76	7492	9,78	1942	4,98	8286	6,75
		18	87,7	68,9	5247	7,73	8337	9,75	2158	4,96	9342	6,83
		20	97,0	76,1	5765	7,71	9160	9,72	2370	4,94	10401	6,91
		22	106,1	83,3	6270	7,69	9961	9,69	2579	4,93	11464	7,00
		25	119,7	94,00	7006	7,65	11125	9,64	2887	4,91	13064	7,11
		28	133,1	104,5	7717	7,61	12244	9,59	3190	4,89	14674	7,23
		30	142,0	111,4	8177	7,59	12965	9,56	3389	4,89	15753	7,31



5 таблица

Төрле яклы почмаклар

Профиль номеры	Зурлыклар, *мм*			Кисем мәйданы, $см^2$	1 метрның массасы, *кг*	Белешмә зурлыклар										
						$x-x$		$y-y$		x_1-x_1		y_1-y_1		$u-u$		
	B	b	d			I_x, $см^4$	i_x, *см*	I_y, $см^4$	i_y, *см*	I, $см^4$	Үзәк ераклыгы y_0, *см*	I_{y_1} min, $см^4$	Үзәк ераклыгы x_0, *см*	I_u min, $см^4$	i_u min, *см*	$tg\,\alpha$
2,5/1,6	25	16	3	1,16	0,91	0,70	0,78	0,22	0,44	1,56	0,86	0,43	0,42	0,13	0,34	0,392
3,2/2	32	20	3	1,49	1,17	1,52	1,01	0,46	0,55	3,26	1,08	0,82	0,49	0,28	0,43	0,382
			4	1,94	1,52	1,93	1,00	0,57	0,54	4,38	1,12	1,12	0,53	0,35	0,43	0,374
4,2/5	40	25	3	1,89	1,48	3,06	1,27	0,93	0,70	6,37	1,32	1,58	0,59	0,56	0,54	0,385
			4	2,47	1,94	3,93	1,26	1,18	0,69	8,53	1,37	2,15	0,63	0,71	0,54	0,381
4,5/2,8	45	28	3	2,14	1,68	4,41	1,43	1,32	0,79	9,02	1,47	2,20	0,64	0,79	0,61	0,382
			4	2,80	2,20	5,68	1,42	1,69	0,78	12,1	1,51	2,98	0,68	1,02	0,60	0,389
5/3,2	50	32	3	2,42	1,90	6,17	1,60	1,99	0,91	12,4	1,60	3,26	0,72	1,18	0,70	0,403
			4	3,17	2,49	7,98	1,59	2,56	0,90	16,6	1,65	4,42	0,76	1,52	0,69	0,401
5,6/3,6	56	36	3,5	3,16	2,48	10,1	1,79	3,30	1,02	20,8	1,80	5,43	0,82	1,95	0,79	0,479
			4	3,58	2,81	11,4	1,78	3,70	1,02	23,2	1,82	6,25	0,84	2,19	0,78	0,406
			5	4,41	3,46	13,8	1,77	4,48	1,01	29,2	1,86	7,91	0,88	2,66	0,78	0,404

Профиль номеры	Зурлыклар, мм			Кисем мәйданы, $см^2$	1 м массасы, кг	Белешмә зурлыклар											
						x—x		y—y		$x_1—x_1$		$y_1—y_1$		u—u			
	B	b	d			I_x, $см^4$	i_x, см	I_y, $см^4$	i_y, см	I_{x_1}, $см^4$	Үзәк ераклыгы y_0, см	I_{y_1} min, $см^4$	Үзәк ераклыгы x_0, см	I_u min, $см^4$	i_u min, см	tg α
6,3/4,0	63	40	4	4,04	3,17	16,3	2,01	5,16	1,13	33,0	2,03	8,51	0,91	3,07	0,87	0,397
			5	4,98	3,91	19,9	2,00	6,26	1,12	41,4	2,08	10,8	0,95	3,73	0,86	0,396
			6	5,90	4,63	23,3	1,99	7,28	1,11	49,9	2,12	13,1	0,99	4,36	0,86	0,393
			8	7,68	6,03	29,6	1,96	9,15	1,09	66,9	2,20	17,9	1,07	5,58	0,85	0,386
7/4,5	70	45	4,5	5,07	3,98	25,3	2,23	8,25	1,28	51	2,25	13,6	1,03	4,88	0,98	0,407
			5	5,59	4,39	27,8	2,23	9,05	1,27	56,7	2,28	15,2	1,05	5,34	0,98	0,406
7,5/5	75	50	5	6,11	4,79	34,8	2,39	12,5	1,43	69,7	2,39	20,8	1,17	7,24	1,09	0,436
			6	7,25	5,69	40,9	2,38	14,6	1,42	83,9	2,44	25,2	1,21	8,48	1,08	0,435
			8	9,47	7,43	52,4	2,35	18,5	1,40	112	2,52	34,2	1,29	10,9	1,07	0,430
8/5	80	50	5	6,36	4,99	41,6	2,56	12,7	1,41	84,6	2,6	20,8	1,13	7,58	1,09	0,387
			6	7,55	5,92	49,0	2,55	14,8	1,40	102	2,65	25,2	1,17	8,88	1,08	0,386
9/5,6	90	56	5,5	7,86	6,17	65,3	2,88	19,7	1,58	132	2,92	32,2	1,26	11,8	1,22	0,384
			6	8,54	6,70	70,6	2,88	21,2	1,58	145	2,95	35,2	1,28	12,7	1,22	0,384
			8	11,18	8,77	90,9	2,85	27,1	1,56	194	3,04	47,8	1,36	16,3	1,21	0,380
10/6,3	100	63	6	9,59	7,53	98,3	3,2	30,6	1,79	198	3,23	49,9	1,42	18,2	1,38	0,393
			7	11,1	8,70	113	3,19	35,0	1,78	232	3,28	58,7	1,46	20,8	1,37	0,392
			8	12,6	9,87	127	3,18	39,2	1,77	266	3,32	67,6	1,50	23,4	1,36	0,391
			10	15,5	12,1	154	3,15	47,1	1,75	333	3,40	85,8	1,58	28,3	1,35	0,387

5 таблицаның дәвамы

Профиль номеры	Зурлыклар, *мм* B	Зурлыклар, *мм* b	Зурлыклар, *мм* d	Кисем мәйданы, $см^2$	1 *м* массасы, *кг*	Белешмә зурлыклар $x-x$: I_x, $см^4$	$x-x$: i_x, *см*	$y-y$: I_y, $см^4$	$y-y$: i_y, *см*	x_1-x_1: I_{x_1}, $см^4$	x_1-x_1: Үзәк ераклыгы y_0, *см*	y_1-y_1: I_{y_1} min, $см^4$	y_1-y_1: Үзәк ераклыгы x_0, *см*	$u-u$: I_u min, $см^4$	$u-u$: i_u min, *см*	$tg\,\alpha$
11/7	110	70	6,5	11,4	8,98	142	3,53	45,6	2	286	3,55	74,3	1,58	26,9	1,53	0,402
			7	12,3	9,64	152	3,52	48,7	1,99	309	3,57	80,3	1,6	28,8	1,53	0,402
			8	13,9	10,9	172	3,51	54,6	1,98	353	3,61	92,3	1,64	32,3	1,52	0,400
12,5/8	125	80	7	14,1	11	227	4,01	73,7	2,29	452	4,01	119	1,8	43,4	1,76	0,407
			8	16	12,5	256	4	83,0	2,28	518	4,05	138	1,84	48,8	1,75	0,406
			10	19,7	15,5	312	3,98	100	2,26	649	4,14	173	1,92	59,3	1,74	0,404
			12	23,4	18,3	365	3,95	117	2,24	781	4,22	210	2	69,5	1,72	0,400
14/9	140	90	8	18	14,1	364	4,49	120	2,58	727	4,49	194	2,03	70,3	1,98	0,411
			10	22,2	17,5	444	4,47	146	2,56	911	4,58	245	2,12	85,5	1,96	0,409
16/10	160	100	9	22,9	18	606	5,15	186	2,85	1221	5,19	300	2,23	110	2,2	0,391
			10	25,3	19,8	667	5,13	204	2,84	1359	5,23	335	2,28	121	2,19	0,390
			12	30	23,6	784	5,11	239	2,82	1634	5,32	405	2,36	142	2,18	0,388
			14	34,7	27,3	897	5,08	272	2,8	1910	5,40	477	2,43	162	2,16	0,385
18/11	180	110	10	28,3	22,2	952	5,8	276	3,12	1933	5,88	444	2,44	165	2,42	0,375
			12	33,7	26,4	1123	5,77	324	3,1	2324	5,97	537	2,52	194	2,40	0,374
20/12,5	200	125	11	34,9	27,4	1449	6,45	446	3,58	2920	6,5	718	2,79	264	2,75	0,392
			12	37,9	29,7	1568	6,43	482	3,57	3189	6,54	786	2,83	285	2,74	0,392
			14	43,9	34,4	1801	6,41	551	3,54	3726	6,62	922	2,91	327	2,73	0,390
			16	49,8	39,1	2026	6,38	617	3,52	4264	6,71	1061	2,99	367	2,72	0,388
25/16	250	160	12	48,3	37,9	3147	8,07	1032	4,62	6212	7,97	1634	3,53	604	3,54	0,410
			16	63,6	49,9	4091	8,02	1333	4,58	8308	8,14	2200	3,69	781	3,50	0,408
			18	71,1	55,8	4545	7,99	1475	4,56	9358	8,23	2487	3,77	866	3,49	0,407
			20	78,5	61,7	4987	7,97	1613	4,53	10410	8,31	2776	3,85	949	3,48	0,405

Эчтәлек

Кереш сүз 3

Барлык мәсьәләләрдә дә кулланыла торган зурлыклар 5

1. Эчке көч факторлары 6
2. Сузу һәм кысу 15
3. Көчәнешле халәт теориясе һәм чыдамлык теорияләре 28
4. Яссы кисемнәрнең геометрик характеристикалары 33
5. Шудырып күчерү һәм бөтерү 37
6. Яссы бөгү 45
7. Катлаулы каршылык 56
8. Энергетик методлар 64
9. Статик билгеләнмәгән системаларны исәпләү 71
10. Чикләмә халәт (күтәрү сәләте) нигезендә исәпләү 78
11. Кысылган борысларның тотрыклылыгын исәпләү 84
12. Динамика мәсьәләләре 90
13. Аруны исәпләү 99
14. Юка тышчаларны исәпләү 102
15. Калын стеналы цилиндрлар 104

16 Төрле мәсьәләләр 105

Җаваплар һәм чишелешләр 113

Өстәмәләр 157

Төп тәҗрибә эшләре 157

Беренче тәҗрибә эше. Сынау машиналары һәм үлчәү кораллары белән танышу 157

Икенче тәҗрибә эше. Үзле корычны сузуга сынау 162

Өченче тәҗрибә эше.Материалның сыгылмалылык үзлекләрен билгеләү 166

Дүртенче тәҗрибә эше. Материалларның аларны кыскандагы чыдамлык үзлекләрен билгеләү 169

Белешмә таблицалар 171

Учебное издание

Валиуллин Абрик Хайруллович

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

(на татарском языке)

Редакция мөдире *Ф. Г. Иштирәкова*
Редакторлары *К. З. Зиннәтуллина, Л. Х. Мөхәммәтҗанова*
Тышлык рәссамы *И. И. Азимов*
Техник редакторлары *С. П. Ревва, Л. М. Тилк*
Корректорлары *К. З. Зиннәтуллина, Л. Х. Мөхәммәтҗанова*

ИБ № 145

Җыярга тапшырылды 15.01.1993. Басарга кул куелды 8.07.1993. Форматы 60×90 1/16. Офсет кәгазе. Офсет басма. Басма табагы 11,5. Шартлы буяу-оттиск 11,75. Нәшер хисап табагы 6,92. Тиражы 1115 данә. Заказ Я-502. С-64.

«Мәгариф» нәшрияты. 420111, Казан, Бауман ур., 19.
Издательство «Магариф». 420111, г. Казань, ул. Баумана, 19.

Татарстан Республикасы газета-журнал типографиясе.
420066, Казан, Декабристлар ур., 2.

Китапның оригинал-макеты "Таң" нәшриятында компьютерда эшләнде.
420111, Казан, К. Маркс ур., 3.